Série A, n° 2134
N° d'ordre :
3005

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

Henri MALTERRE

DIRECTEUR-ADJOINT DE LA STATION AGRONOMIQUE D'AMIENS

1re **THÈSE**. — Contribution a l'étude des limons quaternaires du bassin de Paris.

2e **THÈSE**. — Propositions données par la faculté.

Soutenues le 4 Juillet 1946, devant la Commission d'examen

MM. JAVILLIER ..... *Président.*
LUTAUD ..... } *Examinateurs.*
BOURCART ..... }

AMIENS
IMPRIMERIE DU COURRIER PICARD
14-16-18, Rue Alphonse-Paillat, 14-16-18

1946

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

Nom du Candidat : .....

Prénoms : .....

(*Souligner le prénom usuel.*)

(éventuellement) :

Nom de jeune fille : .....

Date de la soutenance : ...../...../.....

Numéro d'ordre : .....

(Ces deux mentions seront complétées par le service du Secrétariat de la Faculté)

1

MALTERRE (Henri).
Contribution à l'étude des limons quaternaires du Bassin de Paris. — *Amiens,* Imp. du " Courrier Picard ", 1946, Gr. in-8°, 110 p., 13 fig.
(Th. Sc. Nat. Paris 1946. Série A. 2134, N° 3005.)

2

MALTERRE (Henri).
Contribution à l'étude des limons quaternaires du Bassin de Paris — *Amiens,* Imp. du " Courrier Picard ", 1946, Gr. in-8°, 110 p., 13 fig.
(Th. Sc. Nat. Paris 1946. Série A. 2134, N° 3005.)

3

MALTERRE (Henri).
Contribution à l'étude des limons quaternaires du Bassin de Paris. — *Amiens,* Imp. du " Courrier Picard ", 1946, Gr. in-8°, 110 p., 13 fig.
(Th. Sc. Nat. Paris 1946. Série A. 2134, N° 3005.)

4

MALTERRE (Henri).
Contribution à l'étude des limons quaternaires du Bassin de Paris. — *Amiens,* Imp. du " Courrier Picard ", 1946, Gr. in-8°, 110 p., 13 fig.
(Th. Sc. Nat. Paris 1946. Série A. 2134, N° 3005.)

SÉRIE A, N° 2134
N° D'ORDRE :
3005

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

Henri MALTERRE

DIRECTEUR-ADJOINT DE LA STATION AGRONOMIQUE D'AMIENS

1re THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES LIMONS QUATERNAIRES DU BASSIN DE PARIS.

2e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le Juillet 1946, devant la Commission d'examen

MM. JAVILLIER ..... *Président.*
LUTAUD ..... } *Examinateurs.*
BOURCART ..... }

AMIENS
IMPRIMERIE DU COURRIER PICARD
14-16-18, Rue Alphonse-Paillat, 14-16-18

1946

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

Doyen ..... J. CABANNES.

PROFESSEURS

P. MONTEL ..... T Théorie des Fonctions.
L. BLARINGHEM T Botanique.
G. JULIA..... T Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
C. MAUGUIN ..... T Minéralogie.
A. MICHEL-LÉVY T Petrographie.
A. DENJOY ..... T Géométrie supérieure.
L. LUTAUD ..... T Géographie physique et géologie dynamique.
E. DARMOIS ..... T Enseignement de Physique.
A. DEBIERNE ... T Electronique et Radioactivité.
M. JAVILLIER ... T Chimie biologique.
Robert LÉVY..... T Physiologie comparée.
Henri VILLAT ... T Mécanique des fluides et applications.
Ch. JACOB ..... T Géologie.
P. PASCAL ..... T Chimie générale.
M. FRÉCHET..... T Calcul des probabilités et Physique mathématique.
E. ESCLANGON... T Astronomie.
Mme RAMART-LUCAS .. T Chimie organique.
H. BÉGHIN..... T Mécanique physique et expérimentale.
FOCH ..... T Mécanique expérimentale des fluides.
PAUTHENIER ... T Electrotechnique générale.
De BROGLIE ..... T Théories physiques.
CHRÉTIEN..... Optique appliquée.
JOB..... T Chimie générale.
PRENANT ..... T Anatomie et Histologie comparées.
VILLEY ..... T Mécanique appliquée.
COMBES .....T Physiologie végétale.
GARNIER ..... T Application de l'analyse à la Géométrie.
PÉRÈS ..... T Mécanique rationnelle.
HACKSPILL ..... T Chimie minérale.
LAUGIER ..... T Physiologie générale.
TOUSSAINT ..... Technique Aéronautique.
M. CURIE ..... Physique (P.C.B.)
G. RIBAUD ..... T Hautes températures.
CHAZY ..... T Mécanique analytique.
GAULT ..... T Chimie appliquée.
CROZE ..... T Physique théorique et Physique céleste.
DUPONT ..... T Théories chimiques.
LANQUINE ..... T Géologie structurale et géologie appliquée.
VALIRON ..... T Calcul différentiel et Calcul intégral.
BARRABÉ ..... Géologie structurale et géologie appliquée.
F. PERRIN ..... Théories physiques.
VAVON ..... T Analyse et mesures chimiques.
G. DARMOIS ... T Mathématiques générales.
CHATTON ..... T Biologie maritime.
AUBEL ..... Chimie biologique.
Jacques BOURCART .... Géographie physique et Géologie dynamique.
Mme JOLIOT-CURIE .... Physique générale et Radioactivité.
PLANTEFOL ..... T Botanique.
CABANNES ..... T Recherches physiques.
GRASSE ..... T Zoologie (Evolution des êtres organisés).
PRÉVOST ..... Chimie organique.
BOULIGAND..... Mathématiques.
CHAUDRON ... Chimie.
WYART..... Minéralogie.
TEISSIER ..... T Zoologie.
MANGENOT ..... T Biologie végétale.
P. AUGER..... T Physique quantique et relativité.
MONNIER ..... Physiologie générale.
PIVETEAU..... Géologie.
ROCARD ..... Physique.
H. CARTAN ..... Calcul différentiel.
SCHAEFFER ..... T Physiologie des fonctions.
LAFFITTE..... Chimie (P.C.B.).
LERAY ..... Mécanique théorique des fluides.
FAVART..... Calcul des probabilités et Physique-Mathématique.
COULOMB..... T Physique du globe.
Mlle COUSIN..... Biologie animale (P.C.B.).
CHRÉTIEN..... Analyse et mesures chimiques.
DRACH ..... Evolution des êtres organisés.
CHATELET ..... T Arithmétique et théorie des nombres.
EPHRUSSI..... T Génétique.
WURMSER..... T Biologie physico-chimique
KASTLER ..... Physique.
BAUER ..... T Chimie-Physique.
RIVIÈRE..... Géologie.

Secrétaire ..... Ch. MONIER.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

A Monsieur Albert DEMOLON

Membre de l'Institut et de l'Académie d'Agriculture,

Inspecteur Général de l'Agriculture.

A Monsieur Georges JORET

Membre correspondant de l'Académie d'Agriculture,

Directeur de la Station Agronomique d'Amiens.

Hommage de reconnaissance.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DES LIMONS QUATERNAIRES
DU BASSIN DE PARIS

Par leur composition chimique et minéralogique, par leurs caractéristiques granulométriques, par l'ensemble de leurs propriétés, les limons forment un groupe naturel qui se place logiquement entre le groupe des argiles et celui des sables.

Ce groupe est extrêmement vaste ; malgré une homogénéité souvent plus apparente que réelle, il comporte des termes qui diffèrent profondément les uns des autres. Il apparaît donc indispensable, si l'on veut quitter le domaine des idées générales, de scinder le sujet et de tracer, dans le temps et dans l'espace, des limites relativement étroites, toujours plus ou moins arbitraires.

Bien que située sur l'auréole crétacée du Bassin de Paris, et malgré des variations locales très marquées, la Picardie se révèle avant tout comme un vaste plateau de limon ; c'est dire qu'elle constitue un champ d'observation particulièrement favorable à l'étude de la formation pléistocène. Nous avons recherché les termes de comparaison indispensables dans les régions voisines, dans le Pays de Caux, le Valois, le Soissonnais, le Multien, autour de Paris, dans la Beauce et dans la Brie. Ces régions appartiennent toutes au Bassin parisien, mais n'en représentent cependant qu'une faible partie.

Aucun agronome n'ignore plus à l'heure actuelle que l'étude des sols est inséparable de l'étude des roches mères et cette vérité apparaît spécialement évidente pour les sols dérivés des limons, les sols eux-mêmes pouvant être considérés comme des limons éluviaux.

En ce qui concerne les roches limoneuses, la réciproque ne semble d'ailleurs pas totalement inexacte, puisque les limons dérivent de roches préexistantes, par l'intermédiaire, pour une large part tout au moins, du manteau d'altération qui recouvrait celles-ci.

Pour chaque affleurement, avec une intensité variable suivant les conditions du moment, l'altération s'est poursuivie aux âges géologiques comme elle se poursuit aujourd'hui; c'est donc sur un socle largement soumis à la pédogenèse que les divers agents de transport ont mélangé, puis étalé, les produits fins résultant de la désagrégation des zones superficielles, pour donner naissance aux limons.

Nous avons été ainsi amené à comparer les limons entre eux, à un certain nombre de roches secondaires ou tertiaires et aux sols dérivés. Sans jamais oublier l'examen des relations stratigraphiques, il nous a donc fallu réunir une documentation analytique considérable et c'est pourquoi nous avons fait appel à des méthodes relativement simples, mais se prêtant bien à l'analyse en série et à la comparaison statistique des résultats.

Pour cet exposé, nous adoptons l'ordre suivant :

I. Techniques d'études utilisées ;
II. Constitution des limons quaternaires du Bassin de Paris ;
III. Constitution de quelques formations sédimentaires du Bassin de Paris ;
IV. Influence des roches sous-jacentes ou voisines sur la constitution des limons
V. Données stratigraphiques ;
VI. Origine des limons ;
VII. Les sols de limon et leurs principales caractéristiques agronomiques ;
Résumé et conclusions générales.

***

Je ne veux pas entrer dans le détail de ces recherches sans accomplir ici un agréable devoir.

Qu'il me soit permis tout d'abord de remercier M. Lutaud, Professeur à la Sorbonne, qui a bien voulu assumer la direction générale de mon travail et ne m'a jamais ménagé ni son appui, ni ses excellents conseils ; M. Jacques Bourcart, Professeur à la Sorbonne, qui a aimablement accepté de faire partie de mon jury d'examen ; M. Javillier, Membre de l'Institut, dont les encouragements m'ont toujours été particulièrement précieux et qui m'a fait l'honneur d'assurer la présidence de ma thèse.

Je veux aussi renouveler ici l'expression de ma reconnaissance à M. l'Inspecteur Général Demolon et à M. G. Joret, Directeur de la Station agronomique d'Amiens, auprès desquels j'ai toujours trouvé et bien au-delà, l'aide nécessaire pour entreprendre ce travail et le mener jusqu'à son terme.

Il me serait impossible d'oublier l'accueil si sympathique reçu au Laboratoire de Géographie physique et de Géologie dynamique de la Sorbonne ; je remercie tout spécialement M. B. Brajnikov, dont l'amitié m'est un gage précieux et M^lle^ S. Duplaix, qui a bien voulu effectuer pour moi un travail long et délicat de détermination de minéraux lourds.

Enfin, je n'oublie pas mes collègues et amis d'Amiens et de Versailles qui, à des titres divers, m'ont rendu de nombreux services. Je dois une mention toute spéciale de reconnaissance à M^me^ Fontaine, à M. le Professeur Barre, à M^mes^ Parot et Saguez-Ledauphin, à M. G. Hiroux ; je suis heureux de leur exprimer ici toute ma gratitude.

CHAPITRE PREMIER

TECHNIQUES D'ÉTUDE UTILISÉES

Le premier but poursuivi par cette étude est de rechercher une définition correcte des limons du Bassin de Paris. Une telle définition exige, en même temps que la délimitation géographique de la zone étudiée, une connaissance aussi exacte, aussi précise que possible, de la composition des roches appartenant à cette formation.

Dans tous les cas, nous avons procédé à l'observation attentive et approfondie des coupes et des profils ainsi qu'à l'examen et à l'analyse des nombreux échantillons prélevés dans les divers niveaux et horizons.

A) Méthodes analytiques

Dans l'ordre de fréquence. les méthodes d'étude employées au laboratoire furent les suivantes : analyse immédiate, examen granulométrique et microscopique des constituants sableux, analyses chimiques, détermination des minéraux lourds, examen des plaques minces.

1° **Analyse immédiate.** — Au même titre que les sols, les roches sédimentaires doivent être considérées comme un mélange, plus ou moins intime, en proportions extrêmement variées, d'un très petit nombre de constituants essentiels, que l'on pourrait également appeler constituants plastiques puisqu'ils forment à eux seuls la presque totalité de la masse.

Or, les pédologues disposent à l'heure actuelle d'une méthode à la fois précise et fidèle, pour connaître la constitution des sols et nous avons appliqué cette technique, connue sous le nom de « Méthode internationale d'analyse mécanique des sols », aussi bien à l'étude des roches meubles et des roches calcaires qu'à celle des sols proprement dits. Il s'agit de séparer les constituants d'un mélange par les seuls moyens mécaniques et physiques, c'est-à-dire, par définition, d'effectuer une analyse immédiate.

a) *Mode opératoire* (80). — On opère sur la terre fine obtenue par tamisage sur tamis à trous ronds de 2 millimètres ; le premier résultat du tamisage est de séparer les cailloux et graviers, le second de donner un produit homogène permettant un échantillonnage correct.

Sur la terre fine, on commence par déterminer le taux de calcaire à l'aide d'un calcimètre ; sur une autre prise d'essai, après avoir, par contact avec ClH dilué, détruit le calcaire et déplacé les cations qui maintenaient le complexe à l'état floculé, on lave jusqu'à élimination totale des chlorures formés et de l'excès d'acide et l'on disperse les colloïdes par agitation dans une solution de soude à 2 pour mille.

Ces deux traitements détruisent les agrégats et rendent les constituants parfaitement indépendants, si bien qu'il est ensuite possible de les séparer sans aucune difficulté. Les particules les plus fines s'isolent par sédimentation. Les colloïdes et les poussières étant définis respectivement par des vitesses de chute inférieures ou au plus égales à $0{,}347\ 10^{-3}$ centimètre seconde (1 cm. 25 à l'heure) et à $0{,}347\ 10^{-1}$ centimètre seconde (125 centimètres à l'heure) (*). Enfin le résidu sableux est divisé en deux lots par tamisage : le sable grossier correspond au refus du tamis n° 90, le sable fin aux granules qui traversent le même tamis.

(*) Les deux décantations prévues par la méthode internationale sont insuffisantes pour séparer complètement les colloïdes ; pour eux comme pour les poussières, nous effectuons trois décantations successives.

Pour les roches très calcaires, nous opérons d'une manière un peu différente : le produit est d'abord décalcifié par un excès notable de ClH au cinquième, lavé aussitôt par décantation jusqu'à disparition de l'acidité, séché, pulvérisé avec précaution et tamisé de façon à obtenir une poudre homogène. Le résidu est alors traité comme une terre normale.

Les constituants des sols ou des roches meubles sont ainsi répartis en cinq fractions caractérisées par leur finesse (*) :

I.	Cailloux et graviers, diamètre supérieur à. . .	2 m/m
II.	Sable grossier, diamètre compris entre	0 m/m 2 et 2 m/m
III.	Sable fin —	0 m/m 02 et 0 m/m 2
IV.	Poussière —	0 m/m 002 et 0 m/m 02
V.	Colloïdes argileux, diamètre inférieur à	0 m/m 002

A ces cinq fractions, il faut ajouter les deux suivantes :

VI. Humus,

VII. Calcaire.

Les matières humiques sont calculées en déduisant de la perte au feu totale, l'humidité (perte à 105°), l'eau de constitution de l'argile (10 pour cent du taux de colloïdes) et le gaz carbonique dégagés par la calcination ; en raison de la constance relative du rapport C/N, le taux d'azote renseigne d'une manière suffisamment approchée sur la teneur en matières organiques.

On a l'habitude de rapporter le taux de cailloux et graviers à 100 de terre brute séchée à l'air, et les autres fractionnements à 100 de terre fine séchée à l'étuve à 105°.

b) *Examen critique.* — Bien entendu la méthode d'analyse mécanique n'est pas à l'abri de toute critique. On lui reproche de comporter de nombreuses causes d'erreur et surtout d'être conventionnelle ; nous allons examiner successivement ces deux points.

Au point de vue pratique, les principaux arguments invoqués contre la méthode ou contre les méthodes similaires sont les suivants :

Les traitements effectués pour détruire les agrégats présentent un certain nombre d'inconvénients ; les traitements acides, J. Thiébaut l'a montré, altèrent d'autres minéraux que la calcite (201) et provoquent la floculation des colloïdes, ce qui rend plus difficiles les séparations ultérieures. L'altération, spécialement l'altération subie par les particules fines, est certaine puisque les liquides de décalcification renferment toujours divers éléments, notamment du fer et de l'acide phosphorique, mais cette altération, il est aisé de s'en assurer, demeure quantitativement négligeable.

L'aspect, la composition, la structure cristalline du minéral caractéristique, extrait par B. Brajnikov, de l'argile à silex de Vernon, ne sont pas modifiés par l'acide chlorhydrique à 5 pour cent à froid ; des traces de fer seulement sont dissoutes (34). L'acide à 0,73 pour cent que nous utilisons pour décomposer les carbonates n'altère donc pas sérieusement le colloïde.

Quant à la floculation, elle ne gêne en aucune manière, les lavages faisant disparaître toutes traces d'acide ; en plus la soude diluée est un peptisant énergique, bien supérieur en certains cas à l'ammoniaque anciennement employée.

(*) Pédologues et agronomes appellent limon la fraction IV, argile la fraction V. Nous évitons ces vocables qui désignant à la fois des roches et des phases granulométriques, prêtent à confusion et se révèlent parfois d'un emploi particulièrement délicat. Aucune difficulté en ce qui concerne les colloïdes ; ce sont des produits caractérisés avant tout par des propriétés colloïdales extrêmement nettes, qui sont séparés après peptisation. Par contre, le mot poussières est déjà employé par les pétrographes pour désigner les éléments d'un diamètre inférieur à 50 μ ; nous n'hésitons pas, cependant, à l'utiliser en lui assignant des limites différentes car nous n'avons pas le choix ; nous ne disposons pas, en effet, d'un autre terme désignant un produit à la fois extrêmement fin et sans aucune cohésion ; J. Bourcart appelle poudres les éléments qui se placent au point de vue dimensionnel entre les sables et les précolloïdes, mais, ici encore, la limite inférieure n'est pas la même que celle de notre lot n° IV.

En second lieu, on a reproché à la méthode d'opérer des classements qui n'ont rien de rigoureux et P. Urbain a rappelé les principales imperfections de la sédimentation : la formule reliant le diamètre des éléments à la vitesse de chute, ne tient aucun compte des différences de densité ni, ce qui est plus grave, des différences de forme (205). Pourtant le coefficient de forme par lequel il convient de multiplier la vitesse de chute théorique atteint 5 pour les phyllites ; négliger systématiquement ce coefficient peut conduire, Lagatu et Maume l'ont montré, à de graves erreurs d'interprétation. Ainsi les minces lamelles de séricite se mélangent en grand nombre au lot argile, sans avoir les très petites dimensions, ni la plasticité de véritables colloïdes (140).

Pour nous, cette critique n'a guère de valeur : les colloïdes argileux isolés à partir des limons et des autres roches sédimentaires du Bassin de Paris, ont tous des propriétés colloïdales de même ordre ; en ce qui concerne les éléments plus grossiers peu importe que quelques phyllites, quelques micas blancs par exemple, soient classés dans le lot poussière alors que leurs dimensions sont celles des sables fins.

Le tamisage lui aussi est loin d'être parfait. Les mailles devraient être circulaires, ce qui est impossible pour les tamis fins ; elles ne sont pas d'une régularité absolue, d'autant plus que les tamis, les tamis fins surtout, se détériorent rapidement. Enfin un tamisage n'est jamais terminé et son résultat dépend dans une certaine mesure de l'opérateur. S. B. Hooghoudt a vérifié que les fractions obtenues n'étaient jamais pures ; elles contiennent jusqu'à 10 ou même 20 pour cent d'éléments plus fins et plus grossiers que ne le laisseraient supposer les dimensions des mailles mais, fait très intéressant que nous avons vérifié, et qui rend au tamisage la plus grande partie de sa signification, les résultats sont reproductibles avec des écarts qui ne dépassent pas 2 pour cent (108).

On voit donc que l'on ne doit pas s'inquiéter exagérément des critiques d'ordre pratique élevées contre les méthodes mécaniques ; l'examen des critiques d'ordre théorique va maintenant nous montrer tout l'intérêt de la méthode.

On a reproché à celle-ci l'arbitraire des limites de fractionnement choisies ; on lui a reproché de séparer des fractions qui contiennent, non pas une seule espèce minéralogique, mais un mélange mal déterminé.

Disons immédiatement qu'à notre avis cette critique est mal fondée. L'essentiel est que les limites soient choisies de façon à ce que tous les éléments d'une même catégorie présentent les mêmes propriétés d'ensemble (32), et l'on peut affirmer que la Méthode internationale d'analyse mécanique atteint ce résultat.

La fraction colloïdale est définie, comme les autres fractions, par les dimensions de ses particules ; la limite de 2 μ nous semble parfaitement justifiée puisque, à partir de cette limite, la matière, qui était déjà coagulable et douée de pouvoir absorbant, commence à participer aux mouvements Browniens (159). Suivant les auteurs, la dimension maxima des particules véritablement colloïdales est 1 μ, 0 μ 4 ou 0 μ 1, mais il n'y a pas, à notre avis, d'inconvénient grave à grouper les précolloïdes avec les colloïdes et de fixer 2 μ comme limite de l'ensemble.

Les colloïdes ainsi définis renferment, en plus de la totalité de la substance argileuse présente dans la roche, une certaine proportion d'impuretés, quartz et feldspaths très finement divisés, silice colloïdale notamment. Mais cette proportion d'impuretés est relativement faible comme le montrent en particulier les faits suivants :

Les particules d'un diamètre inférieur à 5 μ, isolées par A Demolon à partir de quatre terres à briques du département de l'Aisne, ne renfermaient, d'après les analyses rationnelles effectuées, que 10,4 pour cent de silice quartzeuse et 4,5 d'oxyde ferrique libre (74).

La composition des colloïdes que nous extrayons par la méthode internationale des argiles à silex de Picardie, diffère assez peu de la composition du minéral caractéristique extrait par B. Brajnikov de l'argile à silex de Vernon (triage à la main après délitage).

	Minéral E de l'argile à silex de Vernon (34)	Colloïdes minéraux de l'argile à silex de Poix
SiO^2	42,7	44,2
$Al^2\,O^3$	22,7	20,8
$Fe^2\,O^3$	10,8	13,2
Total	76,2	78,2
$SiO^2\,/Al^2\,O^3$	3,2	3,6
$SiO^2\,/Al^2\,O^3 + Fe^2\,O^3$	2,4	2,6

Les résultats analytiques sont assez concordants ; il s'agit, sinon de la même substance, tout au moins de substances assez voisines.

De ces analyses il est impossible de déduire la nature minéralogique de l'argile puisque, par exemple, comme le fait remarquer A. Demolon, un mélange de quartz et d'halloysite peut apparaître comme une beidellite sans en avoir les propriétés (71). La difficulté de ce problème, dont l'intérêt est considérable, tient à ce que l'argile renferme toujours des quantités variables de silice et d'oxyde ferrique libres, sans oublier les cations adsorbés. On ne doit pas exclure naturellement la possibilité de la présence de gels mixtes, plus ou moins évolués, imparfaitement définis, et, à l'heure actuelle, l'analyse rationnelle est encore incapable de nous fixer avec certitude sur les diverses formes présentes dans le complexe. Il faut donc avoir recours à d'autres méthodes (spectres de rayons X, analyses thermiques, courbes de déshydratation), méthodes dont l'emploi et l'interprétation sont toujours délicats.

La presque totalité des colloïdes argileux est séparée par les décantations successives; on n'en trouve plus dans les sables, ni même dans les poussières. Celles-ci sont pulvérulentes, nullement plastiques, à peine jaunâtres ou rougeâtres.

Les éléments dont le diamètre est supérieur à 2 μ renferment en moyenne 85 à 95 pour cent de silice totale, soit 70 à 90 pour cent de silice quartzeuse et 5 à 15 pour cent de silice de silicates. On peut donc admettre sans erreur grave, que l'ensemble sables-poussières est formé de quartz et cela d'autant plus qu'au point de vue propriétés le quartz et les silicates non colloïdaux jouent sensiblement le même rôle.

Nous sommes ainsi conduits à considérer la terre fine des roches meubles et des sols qui les recouvrent comme constituée approximativement de la manière suivante :

Eléments siliceux	Sable grossier. Sable fin. Poussière.
Eléments argileux	Colloïdes minéraux.
Eléments calcaires.	Carbonates.
Eléments humiques.. . . .	Matières organiques.

En résumé, la méthode internationale d'analyse mécanique des sols peut, en dépit d'imperfections, que l'on a d'ailleurs très fortement exagérées, rendre de grands services en pétrographie comme en pédologie. L'argile, ce constituant primordial des roches sédimentaires, est dosée avec une précision suffisante ; de même pour les sols et les roches de nos régions, la méthode nous permet de connaître avec une bonne approximation les pourcentages de silice quartzeuze. En joignant à ces indications les taux de calcaire et de matières humiques, on obtient une image chiffrée très satisfaisante des sédiments étudiés.

La méthode présente d'ailleurs d'autres avantages et il existe des raisons sérieuses de l'employer sans modifications :

— Grâce à la connaissance de leur constitution, il est possible, à l'aide de classifications dues à divers auteurs, de dénommer les sols avec exactitude. Il n'existe aucune classification de ce genre en ce qui concerne les sédiments ; elle rendrait cependant les plus grands services ;

— Les propriétés, toutes les propriétés des roches et des sols (couleur, structure, cohésion, plasticité, perméabilité, etc.), dépendent étroitement de la constitution immédiate du milieu. Dès 1905, H. Lagatu s'est attaché à établir la signification de chacune des fractions et la corrélation existant entre la constitution des sols et leurs propriétés mécaniques (138). Ces relations, si importantes à considérer pour les sols agricoles, ne le sont pas moins pour les sédiments ;

— La couleur constitue un test dont l'importance est bien connue des géologues comme des pédologues, mais si l'œil est très sensible aux différences de teintes, il renseigne beaucoup moins sur la teinte elle-même, surtout en présence d'un contraste. La couleur dépend d'ailleurs pour beaucoup, de l'humidité, de la structure, de l'éclairement ; pour ces diverses raisons son observation est bien plus délicate qu'on ne le pense généralement. L'analyse est le moyen de contrôle qui, seul, permet d'éviter de grossières erreurs d'interprétation ;

— En étudiant un sédiment quelconque, les géologues cherchent toujours à connaître l'origine des éléments qui le constituent et à se représenter le mécanisme de sa formation ; la méthode d'analyse mécanique peut, ici encore, rendre de très grands services.

Son application facile à l'ensemble des sols et des formations meubles, permet de comparer les couches superficielles et leur support géologique ou les roches voisines Ainsi l'identité entre les constituants non calcaires des deux limons supérieurs démontre que la terre à briques résulte bien de la décalcification naturelle de l'ergeron ; de même la marne de Marquéglise est recouverte par un limon rouge qui est un résidu éluvial pur et simple. Tout cela montre la fidélité de la méthode ; appliquée à des milieux pourtant très différents au point de vue physico-chimique, elle met en évidence des parentés étroites entre des sédiments qui ne se ressemblent pas à première vue.

De nombreux auteurs ont cherché à tirer de l'analyse sommaire des sédiments des arguments en faveur d'hypothèses concernant l'agent de transport de certaines formations allochtones ; il semble que l'on ait parfois manqué dans ce domaine de bases expérimentales suffisamment solides. Dans cette voie, la connaissance exacte de la constitution mécanique des sédiments serait sans aucun doute d'un grand secours ;

— Les pédologues, habitués à ce genre d'analyse, en ont effectué un très grand nombre, ce qui permet entre les sols et les roches mères de régions ou même de pays différents les plus utiles comparaisons et c'est surtout pour cette dernière raison que nous employons la méthode sans lui faire subir aucune modification importante.

c) *Interprétation graphique.* — Sauf pour les horizons superficiels, le taux de matières organiques ne dépasse qu'exceptionnellement 1,5 pour cent dans les limons et les autres roches qui nous intéressent. Aussi est-il possible de négliger ce constituant et de grouper les résultats de la manière suivante :

Colloïdes argileux	Fraction n° V.
Calcaire	Fraction n° VII.
Eléments siliceux	Fractions n^{os} II, III et IV.

On peut alors représenter les résultats analytiques en utilisant un système de coordonnées rectangulaires, en portant par exemple le taux de colloïdes argileux sur l'axe des x et le taux de calcaire sur l'axe des y.

Il est aisé de voir que, dans ces conditions, le taux d'éléments siliceux est représenté par la distance qui sépare le point représentatif P, du point S, situé à l'intersection

de la parallèle aux x passant par P, et de l'hypothénuse XY du triangle rectangle isocèle OXY (*).

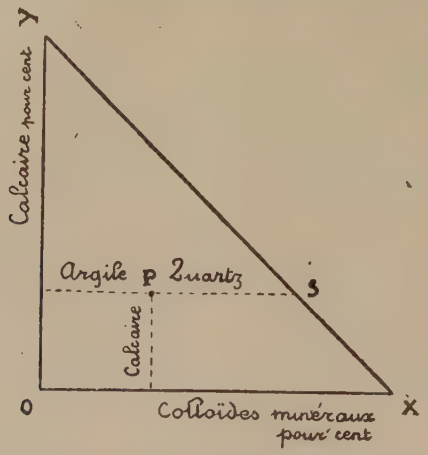

Fig. 1. — **Interprétation graphique de l'analyse immédiate.**

2° **Granulométrie des sables.** — Au cours des transformations, qu'il s'agisse du remaniement par un transport peu prolongé ou de l'évolution *in situ*, le calcaire et les colloïdes sont aisément entraînés ; au contraire, les dimensions des grains siliceux sont relativement fixes, suffisamment même pour que l'on retrouve dans les produits dérivés l'empreinte laissée par la roche mère et il arrive que les diagrammes de finesse établissent entre des couches, très différentes à première vue, des parentés irréfutables.

Mais, à ce point de vue, la répartition des sables en deux catégories seulement est tout à fait insuffisante. La considération des taux de sable grossier et de sable fin n'est même très souvent que d'un médiocre intérêt ; elle peut ne renseigner en rien sur la véritable finesse des produits analysés ; le taux de sable très fin (diamètre compris entre 20 et 60 μ) est bien plus démonstratif. Ainsi, tandis que le taux de sable grossier varie peu dans la majeure partie des sols de Picardie, le taux de sable très fin varie entre 0 et 98 pour cent du total sableux.

Nous avons vu précédemment ce que l'on doit penser du tamisage : les résultats ne sont pas rigoureux, ils dépendent dans une certaine mesure de l'opérateur et des conditions dans lesquelles ils ont été obtenus, mais, et c'est là l'essentiel, ils sont reproductibles.

Les limites de fractionnement que nous avons retenues et vérifiées au microscope : 60, 150, 300, 600 et 1200 μ, répartissent les sables en six fractions différentes d'après leur finesse.

Pour la représentation graphique des résultats, nous portons en abscisses les logarithmes des moyennes entre les dimensions des mailles consécutives prises deux à deux, et en ordonnées les pourcentages pondéraux des grains sableux correspondants.

Pour les comparaisons avec les résultats obtenus par d'autres auteurs, il peut être utile de porter, comme le font H. Alimen et P. Vatan, en abscisses, les dimensions des mailles et en ordonnées la masse des grains dont la taille est supérieure à la dimension de la maille considérée (12); sauf dans ce cas, nous préférons notre méthode graphique qui est plus parlante, les maxima ou les minima étant bien plus faciles à lire que les inflexions.

3° **Analyses chimiques.** — Pour l'analyse élémentaire, nous avons eu recours à la

(*) En 1903, H. Lagatu a proposé l'emploi, pour l'interprétation graphique de l'analyse des sols de ce système trilinéaire (139). On pourrait, dans le même but, utiliser un système ayant pour base un triangle équilatéral ou bien d'autres modes de représentation ; aucun ne nous aurait rendu les mêmes services.

fusion en présence du mélange équimoléculaire de carbonates alcalins. L'analyse « globale » permet, lorsqu'elle est employée concurremment avec l'analyse immédiate, de connaître la signification du fractionnement opéré par cette dernière, en même temps que la pureté des diverses fractions.

La composition élémentaire des colloïdes argileux et des sables étant relativement peu variable, il est évident que la composition chimique de chaque roche est directement fonction de sa constitution immédiate. Autrement dit, la connaissance de la composition globale des roches n'ajoute pas grand chose, en général, à la connaissance de sa constitution immédiate, si ce n'est qu'elle permet une interprétation plus complète de celle-ci.

Pour l'étude des questions de pédologie, les acides concentrés bouillants (62) constituent des solvants particulièrement intéressants des bases alcalines et alcalino-terreuses, de l'alumine, de l'oxyde ferrique, du manganèse, de l'acide phosphorique. Comparée aux procédés par fusion, cette méthode a l'avantage de n'atteindre que les fractions les plus fines, c'est-à-dire les plus susceptibles d'évoluer, en respectant les particules grossières qui demeurent relativement inertes dans le sol. Utescher Kurt a insisté sur ce point et montré, en particulier, l'intérêt du dosage de l'alumine soluble dans l'acide chlorhydrique pour classer les sols minéraux (207). C'est surtout l'alumine contenue dans l'argile qui est soluble dans ClH ; il n'est donc pas étonnant que le taux d'argile et le taux d'alumine classent les sols de la même façon. Ici encore, sauf cas exceptionnels, l'analyse chimique n'ajoute pratiquement rien à la connaissance du sédiment telle qu'elle nous est donnée par l'analyse immédiate.

Quant à la solubilité dans les acides faibles ou dilués, utilisée par les agronomes pour déterminer les éléments dits assimilables, elle ne présente aucun intérêt, ni en pétrographie, ni en pédologie pour connaître les migrations subies par les divers éléments. Ainsi, par exemple, si la solubilité de l'acide phosphorique dans les solvants faibles dépend pour beaucoup de la constitution mécanique du milieu (122), celle-ci renseigne très mal sur la teneur réelle de ce milieu en $P^2 O^5$.

A Bécordel, dans un sol dérivé de l'argile plastique et reposant sur sable thanétien, nous observons une accumulation très nette d'acide phosphorique à 2 mètres de profondeur et cependant le taux d'acide phosphorique assimilable (soluble à l'acide citrique) n'accuse aucune variation à ce niveau (118) :

	Acide phosphorique pour mille	
Profondeur	soluble aux ac. conc. bouillants	Assimilable
—	—	—
1 m. 40	0,35	0,03
2 m. 00	4,00	0,03
2 m. 10	0,43	0,04

Ces quelques chiffres démontrent que la solubilisation par les acides concentrés bouillants est la méthode de choix pour suivre les migrations de l'acide phosphorique dans les zones superficielles.

4° **Examens minéralogiques.** — L'identification des espèces minérales, la reconnaissance des fossiles microscopiques à l'aide des plaques minces, la détermination des minéraux lourds séparés par les liqueurs denses, constituent des méthodes très classiques, sur l'importance desquelles il ne nous appartient pas d'insister.

L'examen des plaques minces permet également de contrôler les dimensions et d'observer la forme des grains, mais, à ce point de vue, la méthode n'apporte rien de plus que l'examen direct des sables séparés par l'analyse mécanique ; ce dernier procédé a même l'avantage de renseigner sur les caractères extérieurs des éléments (aspect dépoli ou hyalin, colorations, etc.).

B. Brajnikov et Mlle S. Duplaix ont rappelé l'intérêt de la détermination des minéraux lourds dans les roches détritiques (40) ; cette technique a grandement augmenté sa signification en chiffrant les résultats et, récemment, B. Brajnikov et d'autres auteurs ont étendu son champ d'application en l'utilisant pour l'étude de questions de génétique pédologique.

Nous ne discutons en aucune manière la valeur intrinsèque de méthodes qui ont fait leurs preuves dans tous les domaines de la pétrographie des roches sédimentaires ; elles ne seront ici cependant que d'un faible secours parce qu'elles se prêtent mal, ou ne se prêtent pas du tout, à l'étude statistique qui constitue l'un des fondements essentiels du présent travail. Il nous suffira surtout d'observer que, tout en établissant quelques faits favorables, elles n'apportent aucun argument véritablement contraire à nos conclusions.

B) Répartition géographique des coupes, des profils et des prélèvements isolés étudiés

Les sols et les roches que nous avons observés et décrits, proviennent en très grand nombre des départements de la Somme et de l'Oise ; pour établir les comparaisons qui s'imposaient, nous avons été amenés à élargir grandement l'étendue du territoire prospectée, en y englobant le Pays de Caux, la bordure Ouest du Soissonnais, le centre du Bassin de Paris, le Nord-Est de la Beauce, la plus grande partie de la Brie (Brie française et Haute-Brie).

En ce qui concerne le Pays de Caux et la Beauce, notre tâche a été notablement simplifiée grâce aux études effectuées par les Stations agronomiques de Blois, de Chartres et de Rouen (44, 82, 97, 134).

1° **Notation.** — Les prélèvements proviennent de huit départements en plus de celui de la Seine :

Aisne : A.	Eure-et-Loir : E.-et-L.
Loiret : L.	Oise : O.
Seine-Inférieure : S.-I.	Seine-et-Marne : S.-et-M.
Seine-et-Oise : S.-et-O.	Somme : S.

En Picardie, on appelle « argilières » ou « terrières », les petites carrières à ciel ouvert, très souvent communales, d'où l'on extrait l'ergeron qui est utilisé, soit comme terre à pisé, soit pour remplacer le sable à mortier. Les « trous à marne » sont les puits verticaux forés dans les limons pour extraire la craie sous-jacente destinée à l'amendement des terres acides :

Briqueteries : 1 ; *Anciennes briqueteries* : 2 ; *Tuileries* : 3 ;
Argilières ou terrières : 4 ;
Sablières : 5 ; *Ballastières* : 6 ;
Extraction de moellons ou de meulières : 7 ;
Carrières de craie : 8 ; *Trous à marnes* : 9 ;
Fouilles pédologiques : 10 ; *Effondrements naturels* : 11 ;
Talus : 12 ; *Fossés* : 13 ; *Divers* : 14.

Les limons recouvrent les formations géologiques les plus diverses ; dans les cas étudiés, le substratum était formé par l'une des roches suivantes :

Alluvions anciennes : *Aa.*

Argile à silex : *As.*	*Argile plastique* : *Ap.*
Argile verte de la Brie : *Av.*	*Argile à meulière de la Brie* : *Am.*
Craie blanche : *C.*	*Calcaire grossier* : *Cg.*
Calcaire de Saint-Ouen : *CSO.*	*Calcaire de Beauce* : *CB.*

Marnes ludiennes et sables de marines : *Ml.*

Sable thanétien : *St.* *Sable de Sinceny* : *SS.*
Sable de Fontainebleau : *SF.* *Sable de Sologne* : *SL.*

Le symbole correspondant à la formation géologique a été souligné chaque fois que le contact entre le limon et la roche sous-jacente était visible lors de la prospection ; dans le cas contraire, la superposition probable est indiquée d'après la carte géologique de la France au 80.000e (55).

2° **Liste des principales coupes.** — Voici, région par région, la liste des principales coupes et des principaux profils étudiés. Dans la parenthèse sont indiqués successivement le département, la nature de la coupe, la roche sous-jacente et l'épaisseur visible de limon, mesurée en décimètres :

Picardie

Vimeu-Ponthieu (21 coupes étudiées, 261 prélèvements analysés) :

1. Aigneville (S., 9, *As*, 30), pièce appartenant à M. Duflos, à environ un kilomètre à l'Ouest de l'agglomération, chemin de Hocquelus.
2. Arrest (S, 4, As, 70), chemin de Franleu.
3. Ault (S, 1, As, 26), sur le plateau, route de Saint-Valery à Eu.
4. Chepy (S, 1, *As*, 30), en face de la gare.
5. Gueschart (S, 2, As, 10), route d'Estrées.
6. Hornoy (S, 1, As, 25), route de Camps.
7. Long (S, 14, As, 40), route d'Ailly en arrivant sur le plateau.
8. Mers (S, 8, C, 20), chemin de Saint-Quentin-Lamotte.
9. Milly (S, 1, As, 20), près de Doullens au carrefour des routes d'Arras et de Lucheux.
10. Oisemont (S, 1, *As*, 10), chemin de Vaux.
11. Le Quesne (S, 12, As, 23), chemin de Saint-Aubin-Rivière.
12. Saigneville (S, 6, *Aa*, 25), chemin de Saint-Valery.
13. Saint-Quentin-Lamotte-Croix-au-Bailly (S, 1, As, 30).
14. Woincourt (S, 1, *As*, 20), près de la gare, route de Dargnies.

Plateau Picard (29 coupes étudiées, 237 prélèvements analysés) :

15. Allery (S, 2, C, 18), route d'Oisemont.
16. Amiens, faubourg de Hem (S, 6, *Aa*, 25), carrière Muchembled.
17. Amiens, faubourg d'Henriville (S, 10, C, 15), rue Camille-Saint-Saens.
18. Amiens, faubourg de Montières (S, 5, Aa, 70), sablière Debary entre la ferme de Grâce et Saveuse.
19. Amiens, faubourg Saint-Acheul (S, 14, *Aa*, 35), anciennement briqueterie Bultel et Tellier.
20. Amiens, vallée de la Chamille (S, 4, C, 40), en remontant vers Dury.
21. Berny (S, 4, C, 15), chemin de Chaussoy.
22. Bienville (O, 14, C, 60), route de Compiègne.
23. Contay (S, 4, C, 38), chemin de Franvillers.
24. Creuse (S, 4, C, 12), chemin de Rumaisnil
25. Creuse (S, 4, C, 15), route d'Amiens à Rouen.
26. Dommartin (S, 4, C, 35), chemin de Remiencourt.
27. Domart-sur-la-Luce (S, 4, C, 30), chemin de Cachy.
28. Fossemanant (S, 12, C, 35), chemin de Neuville.
29. Jumel (S, 4, C, 30), chemin d'Oresmaux.
30. Molliens-Vidame (S, 4, C, 45), route de Senarpont.
31. La Neuville-Saint-Pierre (O.,2,*As*,30), route de Beauvais à Froissy.
32. Le Paraclet A. (S, 11, C, 25), pièce du plateau, Ecole d'agriculture.
33. Le Paraclet B. (S, 10, C, 12), pièce des Hospices, Ecole d'agriculture.
34. Quesnoy-sur-Airaines (S, 2, C, 8), route d'Oisemont.

35. Quevauvillers (S, 10, *As*, 15), Fosse-Bleuet, ancien champ d'expériences de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace.
36. Ribemont-sur-Ancre (S, 4, *C*, 40), chemin de Baizieux.
37. Sommereux (O, 1, *As*, 55), route de Grandvillers.
38. Vers-sur-Selle (S, 4, C, 25), route d'Amiens à Beauvais.

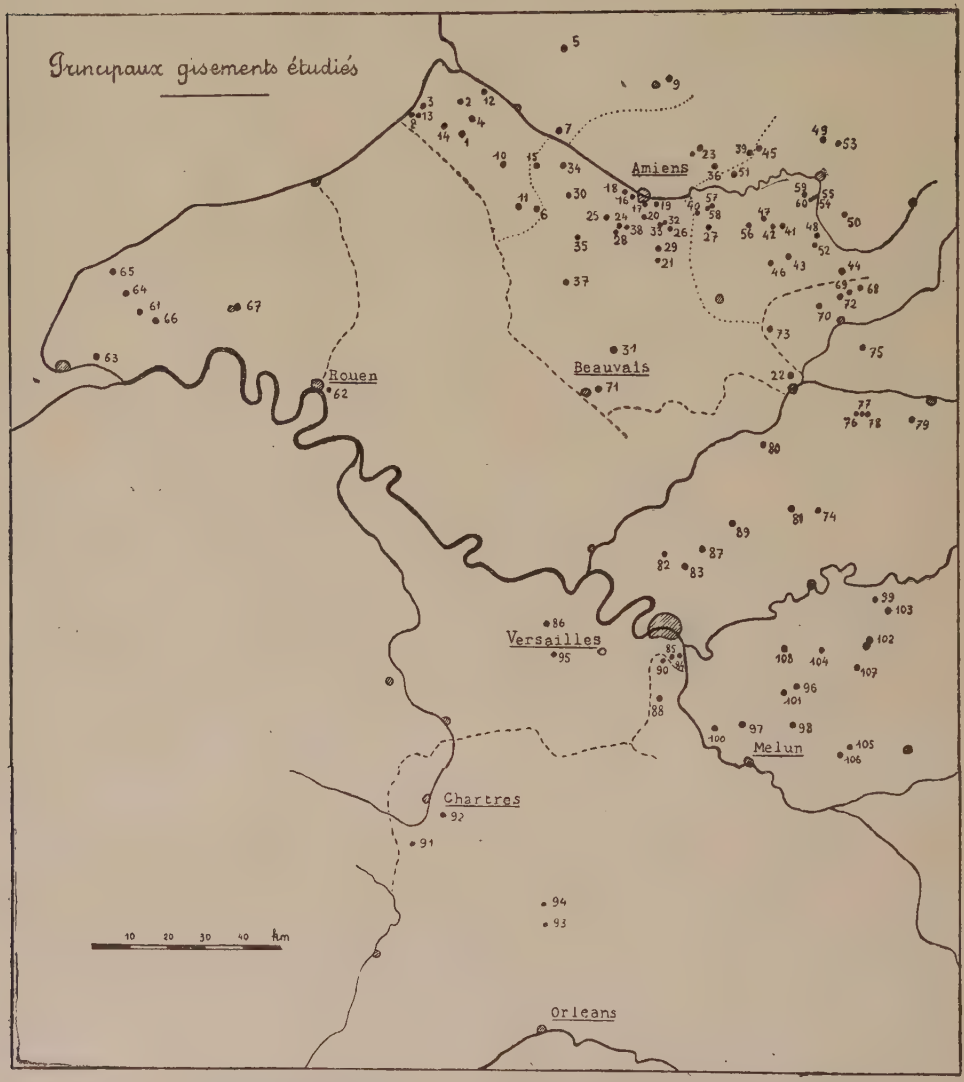

Fig. 2. — **Répartition géographique des principales coupes des limones étudiés.**

Santerre-Vermandois (28 coupes étudiées, 326 prélèvements analysés).

39. Bécordel (S, 5, *Ap*, 12), sur le plateau, 800 mètres au Sud de l'agglomération.
40. Cachy (S, 4, C, 20), chemin de Corbie.
41. Chaulnes A. (S, 1, C, 27), au pont du chemin de fer.
42. Chaulnes B. (S, 2, 5, *SS*, 22), à la bifurcation des lignes d'Amiens et de Montdidier.
43. Crémery (S, 9, *C*, 120), derrière la ferme de M. Hénique.
44. Esmery-Hallon (S, 5, ,*St* 5), chemin d'Ercheu.

45. Fricourt (S, 1, C, 25), route d'Albert.
46. Goyencourt (S, 1, C, 20), route de Roye.
47. Lihons (S, 5, *St*, 20), route d'Amiens.
48. Mesnil-Saint-Nicaise (S, 4, As, 25), chemin d'Athies.
49. Moislains (S, 8, *As*, 15), ferme du Gouvernement.
50. Monchy-Lagache (5, 4, *C*, 25), chemin de Quivières.
51. Morlancourt (S, 5, *SS*, 25), sur la route Bray-Corbie au carrefour du chemin de Sailly-Laurette.
52. Nesle (S, 1, C, 25), route de Ham.
53. Nurlu (S, 8, *As*, *St*, 20), extraction de phosphates, route de Péronne.
54. Pont-les-Brie, A. (S, 14, *C*, 30), route d'Amiens.
55. Pont-les-Brie, B. (S, 1, C, 25), à côté de la gare.
56. Rosières (S, 1, C, 60), chemin de Caix.
57. Villers-Bretonneux, A. (S, 1, C, 45), briqueterie Est.
58. Villers-Bretonneux, B. (S, 1, C), briqueterie Ouest.
59. Villers-Carbonnel, A. (S, 1, C, 23), briqueterie Lescarcelles.
60. Villers-Carbonnel (S, 1, C, 20), briqueterie Susset.

Pays de Caux (9 coupes étudiées, 29 prélèvements analysés)

61. Beuzeville (S.-I., 1, As, 40), en face de la gare de Bréauté.
62. Blosseville (S.-I., 1, *As*, 60), briqueterie de la Société nouvelle des Briqueteries du Nord.
63. Gainneville (S.-I., 1, As, 45), route de Bolbec au Havre.
64. Goderville (S.-I., 1 *As*, 80).
65. Les Loges (S.-I., 1, As, 15), route de Fécamp à Etretat.
66. Nointot (S.-I., 14, *As*, 35), route de Rouville à Bolbec.
67. Yvetot (S.-I., 1, *As*, 30), route de Rouen.

Noyonnais-Clermontois (63 prélèvements analysés) :

68. Beines (O, 10, *Ap*, 5), ferme de M. Germain, pièce de la Forêt des Grandes-Beines.
69. Guiscard (O, 1, Ap, 35), route de Noyon.
70. Lagny (O, 5, *Ap*, 4), route de Roye.
71. Marissel (O, 5, *St*, 7), butte de la Justice près Beauvais.
72. Muirancourt (O, 1, 5, *St*, 20), chemin de Guiscard.
73. Ressons-sur-Matz (O, 10, St, 25), lieudit : « La Petite Remise ».

Soissonnais, *Valois*, *Multien* (79 prélèvements analysés) :

74. Bouillancy (O, 14, *CSO*, 7), chemin de Villers-Saint-Genest.
75. Cuts (O, 4, Cg, 5), chemin de Tracy-le-Mont.
76. Hautefontaine, A. (A, 10, Cg, 20), ferme de M. Demory, pièce de la Rochelle (Ouest).
77. Hautefontaine, B. (A, 10,Cg, 4), ferme de M. Demory, pièce de la Rochelle (Ouest).
78. Hautefontaine, C. (A, 10, Cg, 17), ferme de M. Demory, pièce de la Rochelle (Est).
79. Missy-aux-Bois (A, 10, Cg, 20), champ d'expérience de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace.
80. Le Murgé (O, 1, Cg, 35), route de Verberie à Senlis.
81. Nanteuil (O, 14, *CSO*, 6), route de Paris.

Région parisienne (15 coupes étudiées, 73 prélèvements analysés) :

82. Domont (S.-et-O., 1, CSO, 70), entre la route de Moisselles et le chemin d'Ezanville.
83. Gonesse (S.-et-O., 1, Ml, 20), en face de la gare.
84. Ivry, A. (Seine, 7, *Aa*, 15), à côté du cimetière.
85. Ivry, B. (Seine, 1, *Aa*, 90), briqueterie de Gournay (Bouchon-Grellet).
86. Feucherolles (S.-et-O., 3, Ml, 25), route de Crespières à Saint-Nom-la-Bretèche.
87. Louvres (S.-et-O., 1, CSO, 25), en face de la gare.
88. Morangis (S.-et-O., 1, SF, 17).

89. Plailly (O, 1, Ml, 35).
90. Villejuif (Seine, 5, *SF*, 0-40), en-dessous de la redoute des Hautes-Bruyères.

Beauce (24 prélèvements analysés) :

91. Bailleau-le-Pin (E.-et-L., 1, *As*, 50), route de Chartres.
92. Bonville (E.-et-L., 1, CB, 12).
93. Lion-en-Beauce (L, *CB-SL*, 25), tranchée du chemin de fer à 200 mètres au Nord de la gare.
94. Toury (E.-et-L., 7, *CB*, 4), vers Janville à 1 kilomètre à l'Ouest de Toury.
95. Trappes (S.-et-O., 7, *SL*, 12), route de Rambouillet près de la Revanche.

Brie (18 coupes examinées, 78 prélèvements analysés) :

96. Châtres (S.-et-M., 13, Av), au carrefour de la route de Provins et du chemin de Châtres.
97. Cramayel (S.-et-M., 13, *Am*, 5), au carrefour des routes Paris-Melun et Corbeil-Verneuil-l'Etang.
98. Guignes-Rabutin (S.-et-M., 5, *SF*, 10), route de Mormant, 1 kilomètre après Guignes.
99. Jouarre (S.-et-M., 1, Av, 45).
100. Lieusaint (S.-et-M., 10, *Am*, 15), champ d'expériences de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace.
101. Liverdy (S.-et-M., 7, *Am*, 8), entre Liverdy et Châtres.
102. Montanglaust (S.-et-M., 1, Am, 35), près Coulommiers.
103. Montgoins (S.-et-M., 3, Am, 35), route de la Ferté-sous-Jouarre à Rebais.
104. Mortcerf (S.-et-M., 1, Av, 55), chemin de Dammartin sur Tigeaux.
105. Nangis, A. (S.-et-M., 5, *SF*, 10), butte au Nord de l'agglomération.
106. Nangis, B. (S.-et-M., 12, Am, 10), route de Melun, 500 mètres avant Nangis.
107. Saints (S.-et-M., 1, Am, 35).
108. Villeneuve-Saint-Denis (S.-et-M., 13, SF, 10), route de Pontcarré.

C) Résultats

L'emploi des méthodes d'investigation qui viennent d'être décrites (prospection des coupes et profils, étude des échantillons prélevés dans les horizons profonds, dans les terres arables et dans le sous-sol immédiat), nous ont donné un tableau d'ensemble des formations limoneuses du Bassin de Paris. L'examen des échantillons de comparaison prélevés dans les autres formations, a permis d'établir un inventaire relativement complet concernant la constitution des roches non limoneuses de la même région. Cependant, malgré le très grand nombre d'échantillons étudiés, en raison de la diversité des niveaux géologiques, cet inventaire se révèle évidemment bien moins complet, bien moins précis que celui établi pour les limons et les sols qui les recouvrent.

Ce sont les nombreux résultats des comparaisons effectuées et les conclusions établies par ces comparaisons, que nous allons maintenant examiner successivement.

CHAPITRE II

CONSTITUTION DES LIMONS QUATERNAIRES DU BASSIN DE PARIS

Avant d'envisager comment varie la constitution des limons quaternaires du Bassin de Paris, il est indispensable de fixer les limites de cette constitution, c'est-à-dire de rechercher pour ces formations une définition basée sur la connaissance de leur composition en même temps que sur la connaissance de leurs autres caractères essentiels.

A) Définition des limons

On désigne sous le nom de limon des plateaux les sédiments non caillouteux, présentant des caractéristiques intermédiaires entre celles des argiles et celles des sables, qui recouvrent d'un manteau plus ou moins continu de nombreux plateaux, notamment ceux du Nord de la France.

A l'intérieur des vallées, sur les pentes les moins prononcées et sur les terrasses, c'est-à-dire en des endroits où le ruissellement est encore relativement peu actif, on retrouve des dépôts comparables et il est légitime d'étudier en même temps les uns et les autres.

Roches meubles à grain fin, parfois friables, pulvérulentes (horizon C des terres à briques, ergeron, doux à points noirs), parfois au contraire susceptibles d'acquérir ce que les pédologues appellent une structure polyédrique, prismatique, grenue, etc. (horizon B des terres à briques, fendillés), les limons peuvent former des murs verticaux capables de subsister très longtemps malgré l'attaque des agents atmosphériques (*).

Les diverses propriétés mécaniques, la couleur qui peut être fauve, ocre, chamois, bure, etc., comme d'ailleurs toutes les autres propriétés, sont directement fonction de la constitution immédiate de la roche. Cela autorise une définition correcte de formations, variées certes, mais dont l'aspect montre cependant l'étroite parenté, à la seule condition que la constitution de ces formations soit connue avec une précision suffisante.

1° Constitution physique, chimique et minéralogique des limons.

Tous les limons sont constitués par :

— Des éléments siliceux : quartz pour la plus grande part, petits débris de silex ou de meulières, silicates divers en faibles quantités (muscovite, glauconie, feldspaths, minéraux lourds) ;

— Des éléments colloïdaux : silicates d'alumine hydratés plus ou moins ferrifères, hydrate ferrique, faibles quantités de silice colloïdale ;

(*) Cette propriété, qui correspond à la « structure massive » des pédologues, est une caractéristique des plus remarquables ; elle est en partie la conséquence du tassement agissant sur un produit fin, légèrement humide. Dans une argilière située au sud d'Amiens (point n° 20), la densité apparente de l'ergeron en place, à 3 m. 50 de profondeur, s'élevait à 1,62 ; le même ergeron pulvérisé entre les doigts ne présentait plus qu'une densité égale à 1,13 ; enfin, par compression à la main, il était facile d'atteindre 2,15 et la roche retrouvait alors toute sa compacité primitive. Ainsi, une pression modérée s'est montrée suffisante pour transformer un sédiment pulvérulent dénué de toute cohésion, en une masse relativement dure, résistant fortement à la pénétration des outils. La dessication fait d'ailleurs disparaître complètement cette propriété, qui exige pour se manifester une humidité minima de 3 à 5 pour cent.

Il apparaît donc nettement qu'il s'agit d'une propriété bien connue des ensembles meubles. Elle admet une limite de solidité qui s'identifie à la limite de plasticité d'Atterberg (33 bis). La cohésion atteint une valeur remarquable, puisqu'elle est suffisante pour communiquer à l'ensemble une compacité suffisante pour lui permettre de former des escarpements verticaux résistants aux intempéries, mais insuffisante pour s'opposer à une pulvérisation facile de la roche.

— Des éléments organiques : matières organiques grossières, fines, colloïdales (humus soluble), dont la proportion, sauf dans l'horizon superficiel, est toujours inférieure à 1,5 pour cent.

Ils peuvent renfermer, en outre, ou ne pas renfermer :

— Des éléments calcaires, calcite, petits débris de craie ou de calcaire, débris d'organismes (test de foraminifères, de lamellibranches, de gastéropodes terrestres).

Les analyses globales des colloïdes minéraux extraits des limons montrent que la séparation de l'argile est effectuée d'une manière très satisfaisante.

	Limon de Picardie		Limon de Beauce
	Terre à briques (74)	Fendillé (Point n° 57)	(Point n° 93)
SiO^2	49,0	47,8	49,7
Al^2O^3	24,2	24,7	25,3
Fe^2O^3	10,9	11,2	9,1
CaO	—	1,0	1,1
MgO	1,9	2,9	2,3
K^2O	3,5	—	—
H^2O	10,5	9,8	10,2
SiO^2/Al^2O^3	3,5	3,3	3,6
$SiO^2/Al^2O^3 + Fe^2O^3$	2,7	2,5	2,9

Pour tenter d'identifier les espèces minéralogiques présentes, il est indispensable d'avoir recours à d'autres moyens d'investigation, par exemple à l'analyse thermique. L'emploi de cette dernière méthode a conduit M^lle^ V. Malycheff à conclure que la substance argileuse des loess du Bassin de Paris est surtout constituée par des espèces appartenant aux groupes de la montmorillonite et de la beidellite ; il semble que la kaolinite et l'halloysite ne jouent dans les loess qu'un rôle insignifiant (160), mais il est très possible qu'il n'en soit plus de même dans d'autres limons.

Dans les éléments sableux isolés par l'analyse mécanique, le taux de silice est voisin de 90 pour cent, ce qui correspond à la présence d'au moins 80 pour cent de quartz ; à côté du quartz existent un certain nombre d'espèces accessoires et notamment de très faibles quantités de minéraux lourds.

Les mesures granulométriques donnent une caractéristique particulièrement intéressante, qui a été utilisée par de nombreux auteurs et récemment par B. Brajnikov pour préciser la notion de complexe limoneux (35,37) ; nous en avons effectué nous-même plus de 350 et ces mesures nous ont montré que si les limons sont souvent très fins, avec une quantité insignifiante d'éléments d'un diamètre supérieur à 0 mm. 06, il est très loin d'en être toujours ainsi.

Pour un très grand nombre de limons, les quantités de sables plus grossiers ne sont plus du tout négligeables et elles peuvent même atteindre 45 pour cent du total sableux. Cependant, nos chiffres confirment la conclusion de Brajnikov d'après laquelle les maxima des diagrammes poids-dimension sont toujours compris entre 0 mm. 007 et 0 mm. 090, et nous aurions même tendance à resserrer la zone caractéristique et à admettre pour limites 0 mm. 02 et 0 mm. 06. Il est très rare que le maximum se place au delà et ce n'est que pour quelques rares fendillés, pour quelques rares limons de la Beauce, qu'il se place dans la phase colloïde, nous ne l'avons jamais observé dans la phase poussière.

Comme la finesse des éléments quartzeux, la finesse des éléments calcaires est très variable et si l'ergeron de Villejuif est assez grossier à ce point de vue (11), les ergerons de Picardie sont beaucoup plus fins. A Villers-Bretonneux (point n° 57), 53 pour cent du

calcaire traversent la maille de 0mm. 06 ; à Amiens (point n° 20), ce pourcentage s'élève à 81 pour cent.

Cette variabilité s'explique par le fait que le calcaire s'intègre comme ciment dans les tubes et dans les poupées, qu'il fait partie d'éléments rocheux détritiques de dimensions variées, qu'il se trouve sous forme de granules ou de cristaux de calcite isolés (159).

Aussi les éléments calcaires, dont certains se classent parmi les graviers, peuvent-ils atteindre les dimensions colloïdales comme le montre le trouble opalescent qui persiste longtemps, même après extraction des colloïdes, quand on met le produit en suspension dans l'eau. Mais les quantités de ce calcaire très fin sont extrêmement faibles.

En ce qui concerne les minéraux lourds, les déterminations obligeamment effectuées par Mlle S. Duplaix, autorisent les observations suivantes :

La teneur en minéraux lourds est extrêmement variable, mais toujours faible ; pour vingt-deux échantillons examinés, elle a été comprise entre 0,003 (Vassincourt) et 0,23 (Ault) pour cent du poids du tout venant.

— Cinq espèces (augite, dumortiérite, hypersthène, saussurite, sillimanite) ne se rencontrent que d'une manière accidentelle.

— Trois espèces (andalousite, brookite, sphène) sont rares.

— Deux autres espèces (anatase et disthène) sont le plus souvent présentes, mais toujours en faibles quantités.

— Sept espèces, enfin, peuvent donner des pourcentages dépassant plus ou moins largement 10 pour cent du nombre des minéraux lourds présents ; ensemble, et dans tous les cas, ces sept espèces comptent pour 83 à 96 pour cent de ce nombre total.

Le zircon, la tourmaline et la staurotide sont toujours présents, le rutile 96 fois sur 100, l'épidote et le grenat 91 fois, l'amphibole 86.

Pour les cas étudiés, le zircon se place en tête des groupements 13 fois, la tourmaline 5 fois, l'épidote 4 fois.

Ainsi, les limons renferment des espèces classées dans le groupe des minéraux stables (zircon, tourmaline, rutile), dans le groupe des minéraux de métamorphisme (staurotide), dans celui des minéraux à caractère régional (grenats) et, en outre, parfois de notables quantités d'amphibole, presque toujours un pourcentage important d'épidote.

Presque toujours les grains siliceux les plus grossiers sont arrondis, les grains siliceux fins, anguleux, mais il ne semble pas que l'on puisse tirer de cette constatation des déductions concernant le mode de formation et de mise en place des éléments ; ce caractère n'est d'ailleurs nullement particulier aux limons.

Les compositions chimiques des colloïdes minéraux et des sables étant peu variables, celles des limons reflètent étroitement les constitutions immédiates de ces derniers ; voici quelques données concernant ces compositions (*) :

	Terre à briques		Ergeron	
	1	2	3	4
SiO^2	72,9	81,3	66,4	59,5
Al^2O^3	9,5	7,0	8,3	7,5
Fe^2O^3	6,1	2,3	3,2	3,2
CaO	0,8	1,3	7,7	12,5
MgO	0,8	0,3	0,8	1,0
K^2O	1,8	1,7	1,7	1,6
Na^2O	0,9	1,1	1,5	1,2
TiO^2	1,0	0,8	0,6	0,8
CO^2	0	0	5,3	8,6

(*) Analyses publiées par V. Agafonoff (5) ; échantillons provenant, le 1 et le 3 de Cambrai (Ferme de la Station Agronomique) ; le 2 et le 4, du Plateau de Villejuif (Carrière Lafontaine). Le fer total est exprimé en Fe^2O^3.

Nous avons eu l'occasion d'effectuer un grand nombre de solubilisations par les acides concentrés bouillants ; nous en passons les résultats sous silence car ils n'ajoutent rien à nos autres observations.

2° **Définition analytique des limons.**

Si nous reportons les résultats analytiques dont nous disposons (près de 1.200 analyses effectuées sur des échantillons provenant de la Picardie, du Pays de Caux, du

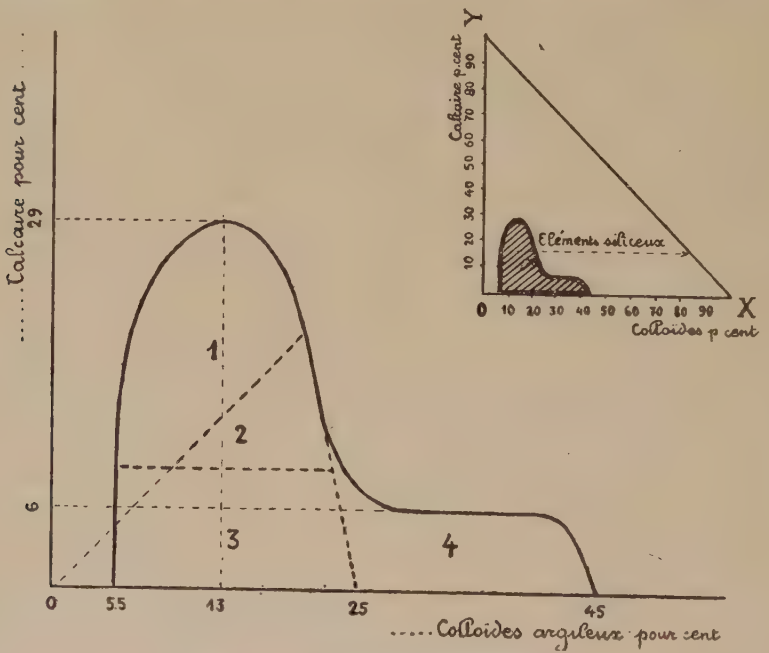

Fig. 3. — **Constitution des limons** :

1. Limons silico-calcaro-argileux.
2. Limons silico-argilo-calcaires.
3. Limons silico-argileux.
4. Limons argilo-siliceux.

Noyonnais et du Clermontois, du Soissonnais, du Valois et du Multien, de la Région parisienne, de la Brie et de la Beauce) sur le graphique d'interprétation, les points représentatifs se groupent à l'intérieur d'une surface que nous appellerons *surface limon* et qui est figurée sur le schéma ci-contre (*).

Mais d'autres formations donnent également des points qui se placent à l'intérieur de la « surface limon ». Nous éliminons les argiles à silex, les alluvions anciennes et modernes, les calcaires altérés dérivés de la craie blanche ou du calcaire grossier, etc., grâce à la considération suivante : les limons types ne renferment pas de cailloux et graviers ou n'en renferment que de très faibles quantités ; des limons moins purs et cependant peu différents des limons types en contiennent moins de 5 pour cent ; les formations énumérées précédemment en renferment toujours plus de 5 pour cent. De nombreux sables sont suffisamment argileux pour figurer également à l'intérieur de « la surface limon », mais, si certains de ces sables sont véritablement très fins, ils le sont toujours beaucoup moins que les limons.

(*) Il serait possible de reporter les diverses propriétés de limons telles que la couleur, l'aptitude au fendillement, etc., sur ce graphique, puisque ces propriétés varient en même temps que la constitution immédiate de la roche, c'est-à-dire lorsqu'on se déplace à l'intérieur du diagramme.

Nous sommes ainsi conduits à la conclusion suivante :

Dans le Bassin de Paris, on appelle limon des roches meubles qui, tout en contenant moins de 5 pour cent de gravier et moins de 45 pour cent d'éléments d'un diamètre supérieur à 60 μ, ont une constitution telle que leurs points représentatifs se placent à l'intérieur de la surface limon tracée sur le diagramme.

La « surface limon » occupe environ 11 pour cent de la surface des « possibilités minéralogiques » (surface totale du triangle).

Suivant la position topographique qu'ils occupent, les sédiments qui remplissent cette double condition sont soit des limons des plateaux, soit des limons des pentes.

Quelques roches qui méritent cependant l'appellation de limon, certains ergerons concrétionnés notamment, ne se placent pas à l'intérieur de la surface de définition ; il s'agit d'exceptions extrêmement rares qu'il est normal de classer à part et l'on peut dire que la quasi totalité des limons (99,5 pour 100 pour les cas étudiés) répondent exactement à la définition qui vient d'être donnée.

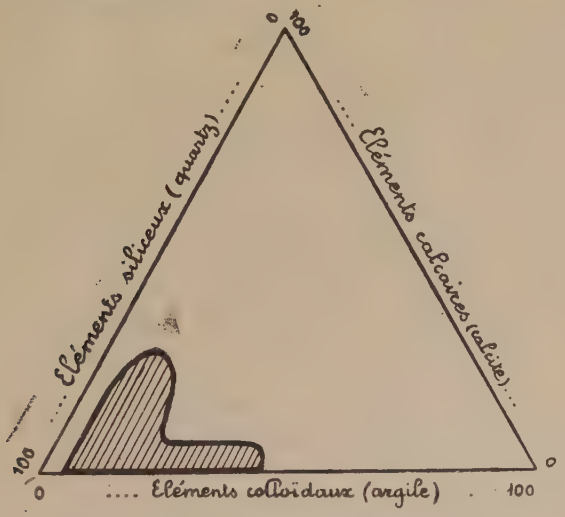

Fig. 3 *bis.* — **Constitution des limons.**
(*Représentation sur le triangle équilatéral*)

Aux constitutions immédiates ou minéralogiques approchées, correspondent des compositions élémentaires bien déterminées et l'on pourrait rechercher les limites de ces compositions pour l'ensemble des limons, mais les résultats seraient nécessairement moins nets que ceux concernant les constitutions immédiates.

B) Les principaux types de limon

Les roches qui satisfont à la double condition énoncée précédemment sont extrêmement variées ; aussi est-il indispensable de les classer dans un certain nombre de types et, tout d'abord, de préciser la valeur des termes employés pour les désigner.

1° Définition des types.

La plus grande confusion a régné et règne encore parfois, en ce qui concerne la signification des mots limon, loess et lehm. Certains les considèrent comme trois synonymes ; pour d'autres, les limons s'étendent sur les plateaux, le loess descendant sur le flanc des coteaux et dans les vallées (191), d'autres, enfin, décrivent le loess comme une formation calcaire, les limons comme des niveaux qui ne renferment pas ou ne renferment plus de carbonates. Mais la définition la plus satisfaisante consiste à donner le nom de limon

à l'ensemble et celui de loess aux limons fins calcaires, les lehms résultant de l'altération subaérienne et *in situ* des loess.

Quant à nous, nous préférons éviter dans la mesure du possible, les appellations de loess et de lehm ; à l'une et l'autre se rattachent des idées théoriques (hypothèse éolienne dans le premier cas, concept d'évolution pédologique dans le second) qui rendent trop souvent ces termes pratiquement inutilisables. Dans combien de cas peut-on affirmer qu'un limon a une origine uniquement éolienne et à quoi reconnaître d'une manière indiscutable qu'un niveau dérive d'un limon préexistant quand celui-ci a complètement disparu ?

Pour ces raisons, il nous semble préférable d'utiliser, chaque fois que cela est possible, la terminologie établie par Ladrière et précisée depuis par de nombreux géologues, notamment par V. Commont et plus récemment par H. Breuil. Les termes employés par Ladrière ont le grand avantage de donner une idée de l'aspect des différents niveaux, sans préjuger en rien de leur mode de formation. De cette classification (136), nous retiendrons les indications suivantes :

Assise supérieure	Limon supérieur brun rougeâtre (terre à briques). Limon fin jaune d'ocre (ergeron). Gravier supérieur.
Assise moyenne	Limon rougeâtre fendillé (fendillé). Limon doux, jaunâtre avec points charbonneux (doux à points noirs). Limon argileux, grisâtre, très sableux à la base (panaché). Graviers moyens.
Assise inférieure	Tourbe ou limon tourbeux. Glaise gris-verdâtre, argileuse ou sableuse. Sable grossier argileux avec éclats de silex. Gravier inférieur formé de sable grossier avec blocs assez volumineux et galets (Diluvium).

L'assise inférieure est exclusivement alluviale et ne comporte la présence d'aucun limon au sens où nous l'entendons ici. L'assise supérieure comprend deux limons différents, l'assise moyenne, trois ; chacune débute par un cailloutis de base.

2° **Difficultés d'identification des types.**

La classification de Ladrière rend les plus grands services pour l'étude rationnelle des limons ; malheureusement, dans la pratique, on manque trop souvent de points de repères suffisants et si le problème est relativement aisé à résoudre sur les terrasses, il n'en est généralement pas de même sur les plateaux.

Identifier les différents niveaux s'avère parfois particulièrement délicat ; la position de ces derniers dans des séries incomplètes et présentant des répétitions est souvent difficile à déterminer ; cela d'autant plus qu'à chaque niveau correspond plusieurs faciès dissemblables, tandis que des niveaux différents peuvent se ressembler aussi bien au point de vue aspect (couleur, structure, sensation ressentie au toucher), qu'au point de vue constitution.

Voici quelques exemples précis des difficultés parfois insurmontables auxquelles on se heurte lorsqu'on étudie les limons quaternaires :

— La couleur brune ou rougeâtre et la structure fendillée correspondent à une teneur élevée en argile, si bien que tous les limons suffisamment argileux pourront mériter l'appellation de « rouge fendillé ». Il y a ainsi possibilité de confusion entre des niveaux très divers, possibilités qui semblent s'être réalisées bien des fois ;

— Comme V. Commont l'a montré, les cailloutis ne sont pas des accidents locaux, mais des niveaux stratigraphiques indépendants. Ils ont une importance théorique considérable car ils trahissent des conditions de climat qui rendaient le ruissellement ou la

solifluxion intenses. Mais la formation des cailloutis dépend aussi directement des conditions topographiques : à certaines époques, le ruissellement a pu être suffisant sur les pentes pour créer un cailloutis alors qu'il en était incapable sur les plateaux. Aussi les cailloutis, généralement nombreux et bien développés sur les terrasses, sont-ils souvent rudimentaires ou absents dans les grandes plaines de Picardie, du Caux, de la Brie ou de la Beauce ;

— Les caractères qui permettraient d'identifier les formations ne sont pas constants ; ils peuvent varier d'un point à un autre ; d'après Franc de Ferrière, il n'existe pas de poupées au-dessous du grand lehm d'Achenheim (premier sol enterré en commençant par le haut). A. Sierentz, près de Mulhouse, au contraire, il en existe d'énormes à ce niveau. Inversement, un lit de poupées est subordonné à Achenheim à un lehm rouge intercalé entre le loess ancien supérieur et le loess ancien moyen alors qu'il n'existe pas de concrétions à Sierentz au même niveau. Ce lehm qui semble devoir être rapporté au fendillé de Ladrière (limon rouge de Commont, argile rouge de haute et moyenne terrasse de H. Breuil) contient 16 pour cent de CO^3 Ca à Achenheim ; il est complètement décalcifié à Sierentz (96). De même, l'ergeron d'Ivry contient des poupées volumineuses, alors que la présence de celles-ci dans les limons des terrasses de la Somme, est une caractéristique particulièrement nette des limons anciens.

— N'oublions pas enfin, que, d'après G. Dubois, des limons de tous les types ont pu se former à toutes les époques du quaternaire (88).

Tout cela montre combien il peut être difficile de s'y reconnaître dans un ensemble complexe, où des points de repère suffisamment nets manquent trop souvent. Il est bien évident que l'on doit s'entourer du maximum de renseignements possibles et l'analyse nous apporte à cet égard, un secours précieux.

3° Constitution des différents types.

L'analyse immédiate nous permet de déterminer un certain nombre de caractères différentiels des plus utiles :

a) *Types classiques.* — Voici tout d'abord les constitutions moyennes et limites des types définis par Ladrière :

	Terre à briques (167 prélèvements effectués en 42 localités différentes)			Ergeron (104 prélèvements effectués en 46 localités différentes)		
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
Colloïdes	6,0	18,1	29,3	6,1	12,3	21,6
Poussière	9,5	20,9	27,4	7,7	16,4	23,0
Sable fin	35,7	55,9	77,2	36,1	51,7	68,4
Sable grossier	0	1,8	7,0	0	1,1	7,3
Calcaire	0	0,4	4,7	9,2	15,9	29,0

	Fendillé (27 prélèvements effectués en 12 localités différentes)			Ergeron ancien (3 prélèvements effectués en 2 localités différentes)		
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
Colloïdes	17,2	26,0	45,3	10,6	18,2	23,2
Poussière	9,8	18,0	23,5	10,2	13,3	17,6
Sable fin	33,7	48,2	61,6	6,7	22,5	30,5
Sable grossier	0,5	4,7	15,5	5,8	19,9	37,4
Calcaire	0	0,8	5,6	23,3	24,2	25,5

	Doux à points noirs (3 prélèvements effectués en 2 localités différentes)			Panaché (8 prélèvements effectués en 3 localités différentes)		
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
Colloïdes	15,4	18,9	21,4	8,2	13,2	18,6
Poussière	13,6	15,8	18,2	3,4	6,3	10,7
Sable fin	53,8	60,3	70,4	19,2	40,1	56,4
Sable grossier. . . .	1,7	2,1	2,7	27,9	39,6	56,9
Calcaire	0	0,4	1,0	0	traces	0,2

Aux cinq types classiques de limons du Nord de la France et du Bassin Parisien, nous en avons joint un sixième beaucoup moins connu. C'est celui que, faute de mieux, nous appelons *ergeron ancien* ; il a été observé par Commont sur les terrasses de la Somme, à Saint-Acheul comme à Montières et en d'autres points de la vallée ; nous l'avons observé nous-même en plein Santerre, sous 8 mètres d'autres limons. Il s'agit d'un limon calcaire qui se place immédiatement en dessous du fendillé ; il ressemble à l'ergeron, mais avec un aspect plus grossier et renferme des poupées beaucoup plus volumineuses que celles renfermées par ce dernier.

Comme son nom l'indique, le doux à points noirs est caractérisé par la présence de taches noires ; ces taches correspondent à une concentration du fer et du manganèse autour de centres privilégiés. Le panaché doit son aspect particulier à la juxtaposition de zones claires et de zones foncées avec des nuances variant entre le gris et le roux, ce qui s'explique par le degré variable d'oxydation qui affecte les différents points d'un milieu extrêmement hétérogène (88).

Si nous considérons maintenant les constitutions immédiates des différents types nous sommes amenés à faire les constatations suivantes :

— Il n'existe pratiquement qu'un type calcaire, l'ergeron ancien n'étant connu, dans la région qui nous occupe tout au moins, qu'en un très petit nombre de points ;

— Le taux d'argile classe les limons non calcaires dans l'ordre suivant :

Panaché,
Terre à briques. Doux à points noirs,
Fendillé.

Il existe deux types de limons panachés dont l'un renferme plus et l'autre moins de 15 pour cent d'argile ; au premier, nous conserverons le nom de panaché ; l'autre, en raison de son aspect différent, était connu de Commont et désigné par celui-ci sous le nom de *moucheté*.

— Les mouchetés, comme les panachés, contiennent toujours beaucoup de sable grossier et corrélativement, très peu de poussières ; il s'agit bien plutôt de sables que de véritables limons.

Les fendillés renferment parfois des éléments grossiers et la statistique montre qu'il y a lieu d'envisager deux types : celui des fendillés fins et celui des fendillés grossiers qui renferment respectivement moins et plus de 4 pour cent de sable grossier.

Dans le doux à points noirs, comme dans les ergerons types, le taux de sable fin est très élevé et celui de sable grossier très faible.

Signalons cependant qu'un échantillon prélevé par Franc de Ferrière à la briqueterie Bouchon d'Ivry, contenait 6,4 pour cent de sable grossier (96).

— La teneur élevée en sable grossier permet d'identifier les panachés et les mouchetés sans aucune difficulté ; par contre, en ce qui concerne la terre à briques, le fendillé et le doux à points noirs, l'examen de la constitution immédiate laisse place à un grand nombre de cas indéterminés ; ces indéterminations ne peuvent être levées que par la connaissance de la position stratigraphique ou de la place à l'intérieur d'un profil pédologique ou par la connaissance d'un caractère lithologique secondaire (présence de points noirs).

Si l'on voulait utiliser le terme de fendillé pour tous les limons qui subissent le fendillement lorsqu'ils se dessèchent, il conviendrait de désigner sous ce nom tous les limons, contenant plus de 20 pour cent de colloïdes. Le groupe ainsi délimité renfermerait non seulement la presque totalité des fendillés de Ladrière, mais encore la presque totalité des horizons d'accumulation des terres à briques.

En définitive, c'est seulement en considérant l'ensemble des caractères analytiques, lithologiques et stratigraphiques que l'on peut espérer éviter toute erreur ; remarquons cependant qu'en se basant uniquement sur les résultats analytiques, un très grand nombre de difficultés disparaissent si, au lieu d'étudier le problème pour une vaste zone, on considère séparément le cas des limons de chaque petite région homogène.

b) *Autres types.* — Nous avons envisagé jusqu'à présent le cas des limons qu'il est possible d'identifier et de placer à l'intérieur du cadre tracé par Ladrière. Pour compléter l'inventaire des limons du Bassin de Paris, il nous faut signaler maintenant tous les limons que l'on ne peut, dans l'état actuel de nos connaissances, classer avec certitude dans aucun des types précédents. Cette classe renferme des limons extrêmement différents les uns des autres. Voici pour ces formations les valeurs limites concernant chacune des phases analytiques :

	min.	max.
Colloïdes argileux	5,5	41,4
Poussière	9,5	28,9
Sable fin	30,1	76,8
Sable grossier	0,3	7,3
Calcaire	0	6,2

A ce groupe appartiennent la totalité des limons de Beauce, la majorité des limons de la Brie, les limons du Pays de Caux, du Vimeu et du Plateau picard sur argile à silex, les limons du Santerre sur argile à silex et sur sable ou sur argile éocènes, les limons du Noyonnais et du Clermontois, les limons sur calcaire de Saint-Ouen du Multien, etc.

C) Variabilité de constitution des limons

La constitution immédiate des limons et, par conséquent, la constitution chimique et toutes les propriétés de ces derniers varient largement d'un point à un autre, non seulement dans le sens vertical, mais encore dans le sens horizontal.

Cette variabilité horizontale s'observe aisément à l'intérieur d'une même région naturelle, car elle est fonction des circonstances locales qui ont présidé à la formation des limons ; elle s'observe surtout en passant d'une région naturelle à une autre.

1° Variabilité locale.

Il n'est pas rare d'observer à proximité les uns des autres, ou même côte à côte, sur un même front de carrière, des limons très différents. Les caractères différentiels peuvent avoir été acquis postérieurement au dépôt, mais ils peuvent aussi avoir existé dès l'origine.

A Nurlu (point n° 53), le limon surmonte, soit l'argile à silex, soit des poches de sables verts thanétiens (glauconie de La Fère) ; les profils sont très différents dans les deux cas :

Profondeur (cm)	Colloïdes argileux	
	Sur sables thanétiens	Sur argile à silex
0 - 20	17,2	14,1
50	17,3	22,2
120	15,5	26,3
200	6,1	35,4

Le premier profil, contrairement au second, est caractérisé par son uniformité ; il se termine à 1 m. 50 sur le sable. Dans le deuxième qui est plus épais, le taux de colloïdes augmente régulièrement depuis la surface jusqu'à l'horizon le plus profond. La juxtaposition, à quelques dizaines de mètres de distance, de profils aussi différents est un fait remarquable.

A Muirancourt (point n° 72), nous avons :

	Front nord Limon sur marne		Front sud Limon sur sable vert	
	à 1 m.	à 1 m. 50	à 1 m.	à 1 m. 50
Colloïdes	29,1	34,5	22,8	19,6
Poussière	12,6	12,1	6,0	6,2
Sable fin	54,3	45,4	67,3	69,4
Sable grossier	1,4	5,6	1,9	3,2
Calcaire	0,3	traces	0,1	traces

La roche est donc toute différente aux deux extrémités de la carrière. En examinant les faits avec attention, on doit rencontrer presque à chaque pas des exemples du même genre, même dans les régions qui passent pour posséder un soubassement géologique et un revêtement limoneux particulièrement uniformes.

2° Variabilité régionale.

Celle-ci apparaît pareillement que l'on observe l'ensemble ou seulement un niveau déterminé.

a) *Variabilité d'ensemble.* — L'épaisseur moyenne du dépôt, la présence ou l'absence d'un niveau calcaire, la teneur en colloïdes de l'horizon superficiel ou des horizons profonds, différencient nettement les limons des diverses régions naturelles :

	VIMEU			CAUX			SANTERRE		
Substratum géologique	Argile à silex			Argile à silex			Craie blanche		
Épaisseur habituelle	1 à 3 m.			3 à 10 m.			3 à 10 m.		
Niveau calcaire (*)	rare			très rare			très fréquent		
Taux de colloïdes (**)	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
en surface	5,5	9,4	16,3	7,5	9,0	23,2	8,9	14,2	25,0
à 1 m. de profond.	9,6	16,2	22,7	14,0	17,8	21,1	19,8	23,0	27,1
à 2 m. —	9,2	13,9	22,2	9,5	14,1	20,2	13,7	17,0	25,0
à 3 m. —				10,3	14,5	20,5	17,9	22,3	29,8
à 4 m. —				12,2	16,8	19,0	19,3	22,2	24,3
Pour toute la hautr	5,5	13,2	22,7	7,5	15,0	23,2	8,9	20,4	29,8

	BRIE			BEAUCE			ENSEMBLE DES CINQ RÉGIONS		
Substratum géologique	Argile à meulière			Calcaire de Beauce					
Épaisseur habituelle	2 à 6 m.			0 m. 50 à 1 m. 50					
Niveau calcaire	rare			absent					
Taux de colloïdes	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
en surface	9,7	13,6	20,4	15,0	20,7	27,5	5,5	13,4	2 ,5
à 1 m. de profond.	14,1	23,9	39,8	28,5	34,9	41,4	9,6	23,1	41,4
à 2 m. —	20,1	24,6	30,9						
à 3 m. —	19,2	24,3	30,3						
à 4 m. —	23,6	25,0	26,4						
Pour toute la hautr	9,7	23,2	39,8	15,0	30,1	41,4	5,5	19,7	41,4

(*) Niveau renfermant au moins 9 pour cent de C^3Ca.

(**) Les chiffres concernant l'horizon superficiel sont extraits, pour la Beauce, d'une étude de Depardon et Buron (82), pour le pays de Caux d'une étude de Ed. Jouis (134).

Ainsi, la puissance des limons peut atteindre 10 mètres comme dans le Santerre et dans le Pays de Caux où seulement un mètre à peine en moyenne comme dans la Beauce.

Suivant les régions et les horizons, les taux extrêmes de colloïdes varient de 5,5 à 41,4 pour cent, c'est-à-dire de 1 à 7,5.

La teneur moyenne en colloïdes s'élève environ à 14 dans le Vimeu, à 15 dans le Pays de Caux, à 30 dans la Beauce ; il est donc deux fois plus élevé dans la dernière région que dans les deux premières.

Si l'on considérait un seul horizon, par exemple l'horizon superficiel, qui se prête particulièrement bien aux études statistiques, on aboutirait à des différences et à un classement pratiquement identiques à ceux obtenus en envisageant les profils dans leur totalité.

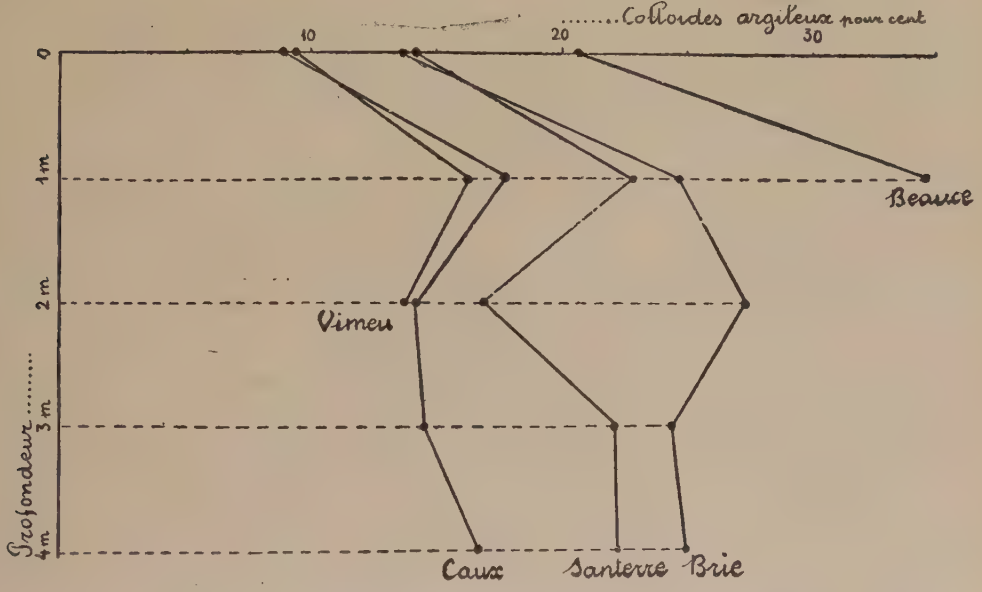

Fig. 4. — **Variabilité régionale de constitution des limons.**

Cette considération nous permet de joindre aux indications précédentes quelques données supplémentaires, concernant trois régions naturelles pour lesquelles nous manquons d'une nombre suffisant de prélèvements profonds :

Substratum géologique	Colloïdes argileux dans l'horizon superficiel		
	min.	moy.	max.
Valois : Calcaire grossier . . .	7,8	12,3	20,3
Multien : Calcaire de Saint-Ouen.	7,6	14,3	15,5
Soissonnais : Calcaire grossier . .	8,8	16,1	23,0

Voici pour l'ensemble le classement obtenu en considérant seulement l'horizon superficiel :

	Taux de colloïdes en surface	Indices de comparaison : Par rapport à la moyenne	Indices de comparaison : Par rapport au Pays de Caux
1° Pays de Caux	9,0	66	100
2° Vimeu	9,4	68	104
3° Valois	12,3	90	136
4° Brie	13,6	99	151
Moyenne générale	13,7	100	152
5° Santerre	14,2	103	158
6° Multien	14,3	104	159
7° Soissonnais	16,1	118	178
8° Beauce	20,7	151	228

En nous plaçant uniquement au point de vue colloïdes, nous pourrions être tentés d'envisager les cinq groupes suivants :

1° Caux, Vimeu ;
2° Valois ;
3° Brie, Santerre, Multien ;
4° Soissonnais ;
5° Beauce.

Or, si les limons du Pays de Caux et du Vimeu présentent, à certains égards du moins, une parenté évidente, il n'en est pas de même des limons de la Brie, du Santerre et du Multien ; les taux de sables grossiers font apparaître entre eux des différences, faibles sans doute, mais qui, étant des données statistiques, acquièrent par cela même une réelle importance (*) :

	Sable grossier : min.	Sable grossier : moy.	Sable grossier : max.
Multien	1,2	8,9	20,0
Brie	0,3	3,5	8,2
Santerre	0	1,4	7,6

D'ailleurs, ces différences seraient fortement accrues si l'on considérait, non plus le taux de sable grossier, mais l'ensemble des éléments d'un diamètre supérieur à 0 mm 06.

Il n'est pas toujours indispensable de changer de région pour observer entre les limons des différences systématiques. Ainsi, le sédiment quaternaire est bien plus grossier entre Saint-Valery et la route Abbeville-Eu, que dans le reste du Vimeu (129). Il ne s'agit d'ailleurs pas de simples différences entre les moyennes ; tous les limons de la bordure Nord-Ouest sont grossiers, tous les limons du centre et du Sud-Est sont fins (taux d'éléments de 20 à 60 μ, compris entre 51 et 73 pour cent de sables dans la première zone, entre 76 et 95 dans la seconde).

Cette variabilité se retrouverait pareillement si, au lieu de considérer la constitution minéralogique approchée, on considérait d'autres données, par exemple la constitution globale ou bien encore les groupements de minéraux lourds.

C'est ce que montrent les déterminations que Mlle S. Duplaix a bien voulu effectuer pour nous ; voici les résultats essentiels de ces déterminations :

(*) Le calcul des probabilités pourrait être appliqué au problème qui nous intéresse ici ; de faibles différences, dénuées de signification quand elles sont établies à l'aide d'un très petit nombre de prélèvements, sont au contraire, hautement démonstratives lorsqu'elles sont déduites de moyennes intéressant un grand nombre d'échantillons.

	Zircon	Epidote	Tourmaline	Rutile	Staurotide	Grenat	Amphibole	Pourcentage total pour les 7 espèces
Beauce :	—	—	—	—	—	—	—	—
Lion	55	11	1	21	2	4	2	96
Toury	51	23	2	11	3	1	3	94
Trappes (terre à briques)	14	19	26	19	7	5	3	93
Trappes (ergeron)	43	16	5	10	7	2	7	90
Brie :								
Montgoins	49	13	1	19	8	1	1	92
Saints	27	26	6	17	7	3	3	89
Vallée de la Seine :								
Oissel (loess récent)	37	11	7	13	4	11	4	87
— (loess ancien)	23	4	39	8	10	1	0	85
Pays de Caux :								
Gainneville	40	23	4	15	6	1	0	89
Nointot	59	7	2	18	9	0	0	95
Petit-Caux :								
Criel	6	43	8	6	2	8	14	87
Saint-Martin	7	44	7	2	6	12	18	96
Picardie :								
Ault	19	36	3	9	4	14	5	90
Rosières	26	29	1	19	4	11	4	94
Plateau de Wassincourt : (*)								
Mussey (partie supérieure)	13	0	59	0	20	2	2	96
— (partie inférieure)	19	0	39	8	16	3	3	88
Valeur minima	6	0	1	0	2	0	0	85
Valeur maxima	59	44	59	21	20	14	18	96

L'indicolite a été comptée avec la tourmaline ; la zoïsite et la clinozoïsite avec l'épidote.

La répartition des espèces dépend de la profondeur et de la position géographique du prélèvement :

A Oissel, au Sud de Rouen, le zircon est le minéral lourd le plus abondant vers le haut et la tourmaline prend sa place vers la base ; les prélèvements effectués, mètre par mètre, montrent que l'épidote, le grenat et l'amphibole, comme le zircon, deviennent plus rares à mesure que l'on descend le long de la coupe (94). A Trappes, le zircon domine dans l'ergeron, alors que la tourmaline prend la première place dans la terre à brique.

Les échantillons en provenance de la Brie, de la Beauce, de Gainneville, de Rosières, d'Oissel (en surface), l'ergeron de Trappes sont caractérisés par l'association zircon, épidote, rutile avec cependant quelques différences dans l'ordre du classement : le zircon est toujours en tête, sauf à Rosières, mais tantôt l'épidote est plus abondant que le rutile (Nangis, Toury, Gainneville, Rosières, Trappes), tantôt il l'est moins (Oissel, Montgoins, Lion).

A Nointot, le groupement est pauvre en épidote et la staurotide remplace ce dernier au troisième rang.

Les limons de Picardie se singularisent par leur pauvreté relative en zircon et par eur enrichissement en épidote, l'épidote se plaçant en tête du groupement caractéristique ; ils se singularisent également par un certain enrichissement en amphibole et surtout en grenat. Les limons de Criel et de Saint-Martin doivent être rapprochés minéra-

(*) Résultats concernant deux prélèvements en provenance de la bordure Est du Bassin, publiés par B. Brajnikov (39 bis).

logiquement des limons de Picardie comme ils s'en rapprochent géographiquement ; ils manifestent les mêmes tendances, mais l'enrichissement en épidote et en amphibole est encore plus marqué et l'amphibole occupe le deuxième rang.

Enfin, les limons du plateau de Wassincourt se montrent différents des limons des autres régions : ils sont caractérisés par l'association : tourmaline, zircon, staurotide, mais fait assez curieux, cette association se retrouve dans le loess ancien d'Oissel.

Ainsi la répartition des minéraux dans la fraction lourde des limons apparaît nettement variable ; à ce point de vue, les limons semblent subir une variation régionale, tout au moins zonale, mais celle-ci se complique d'une variation locale qui affecte la roche parfois sur une même verticale.

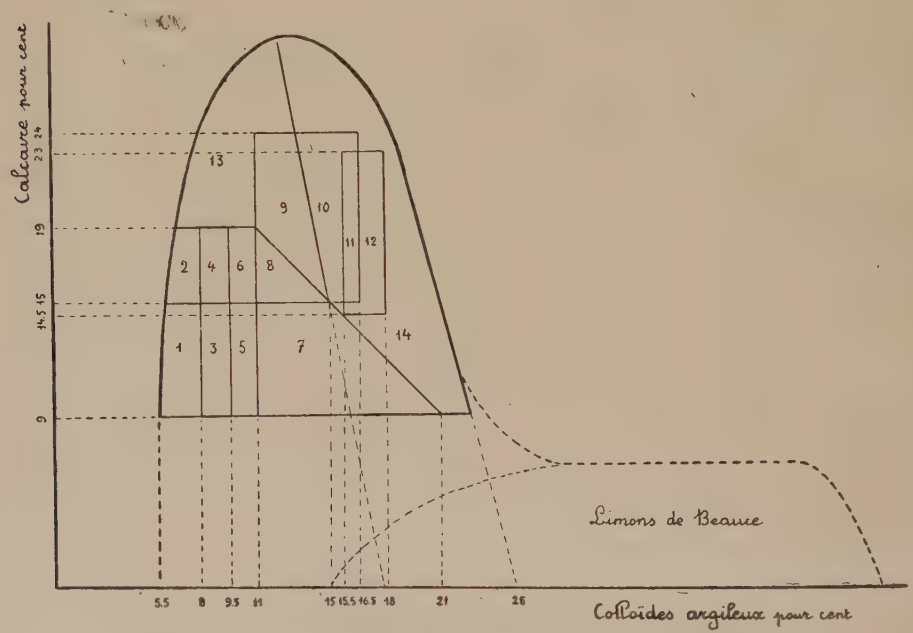

Fig. 5. — **Variabilité régionale de constitution de l'ergeron.**

1+2+3+4	Vimeu.
1+2+3+4+5+6+7+8	Plateau Picard.
2 +4 +6 +8+9 . . . . +13 . .	Plateau Picard (ergerons grossiers).
3+4+5+6+7+8	Santerre.
7+8	Soissonnais.
8+9+10+11	Villejuif et Ivry.
+11+12	Brie et Beauce.
+14 . .	Divers.

b) *Variabilité des différents niveaux.* — La variabilité régionale se retrouve avec la même netteté si, au lieu d'envisager l'ensemble, on considère à part un niveau déterminé par exemple l'ergeron qui, par décalcification naturelle, a engendré la terre à briques.

Inconnu dans la Beauce, rare dans le Pays de Caux, dans le Vimeu ou dans la Brie, l'ergeron se rencontre presque toujours dans le Santerre, le Valois ou le Soissonnais, chaque fois que le sédiment est suffisamment épais.

Nos analyses démontrent que la constitution des ergerons du Bassin de Paris varie dans de très larges limites et que l'on assiste à un groupement relativement étroit de ces

constitutions lorsqu'on opère un classement par régions naturelles. Le graphique ci-contre est très démonstratif à cet égard.

Les différences ne portent pas seulement sur le calcaire et les colloïdes ; la finesse des éléments siliceux varie aussi d'une région à l'autre. Les ergerons du Vimeu diffèrent beaucoup des ergerons du Santerre ; ils contiennent moins d'argile mais aussi moins de poussière et plus de sable fin :

	Ergeron					
	Vimeu			Santerre		
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
Colloïdes argileux .	6,0	7,9	9,1	8,2	12,5	18,6
Poussière	7,7	10,5	16,2	11,5	18,1	21,7
Sable fin	54,4	62,0	68,4	43,7	53,6	60,2
Sable grossier . . .	0,1	1,0	2,1	0,1	1,0	3,7
Calcaire	10,7	15,6	18,4	9,9	12,2	16,4

Dans le Noyonnais et même en Picardie, au contact des témoins tertiaires, un limon jaune très sableux, renfermant de petites particules calcaires, remplace l'ergeron des pays crayeux ; Commont remarque, en outre, que ce limon passe souvent à la base à un limon gris jaunâtre, plus argileux, présentant des strates glaiseuses lilas clair (68).

Les différences signalées entre les ergerons du Vimeu et du Santerre se retrouvent évidemment lorsqu'on compare les terres à briques des deux régions, puisque celles-ci résultent purement et simplement de la décalcification naturelle des limons calcaires.

En ce qui concerne les fendillés, le doux à points noirs, les limons panachés et mouchetés, nous ne disposons pas d'un nombre suffisant d'analyses pour étayer des comparaisons suffisamment solides. Leur étude statistique montrerait sans nul doute que leur composition, comme celle de la terre à briques ou de l'ergeron, oscille largement entre des extrêmes assez éloignés les uns des autres et que ces oscillations sont fonction de la position géographique des prélèvements.

CHAPITRE III

CONSTITUTION DES PRINCIPALES FORMATIONS SÉDIMENTAIRES DU BASSIN DE PARIS

Ainsi, dans chaque région naturelle, les limons quaternaires présentent des caractères que l'on n'observe pas dans les régions voisines. Cette variabilité qui existe aussi à l'intérieur d'une seule et même région, ne peut s'expliquer que par l'une ou l'autre des deux causes suivantes :

— Les actions dynamiques qui ont présidé à la formation des limons variaient d'un secteur à l'autre ;

— Les roches qui ont participé à la genèse des limons n'étaient pas les mêmes dans les divers cas.

Nous sommes ainsi amenés à étudier la composition des roches-mères possibles, c'est-à-dire à rechercher quelle est la constitution des principales roches sédimentaires du Bassin de Paris.

A) Constitution immédiate

A lui seul l'examen des constitutions immédiates nous donnera les termes de comparaison nécessaires ; en effet, ici comme pour les limons, la constitution immédiate et la composition minéralogique se superposent d'une manière satisfaisante.

1° Craie et argile à silex.

L'argile à silex en place recouvre toujours directement la craie blanche ; ces deux roches sont intimement associées et c'est pourquoi nous étudions en même temps l'une et l'autre :

a) *Les craies blanches.* — Les couches sénoniennes sont généralement constituées par des craies blanches, tendres et traçantes, très solubles dans les acides, divisées en parallélépipèdes plus ou moins réguliers, plus ou moins volumineux, par les diaclases, les plans de stratification et aussi par le fendillement qui affecte la roche avec une intensité croissante à mesure que l'on s'approche de la surface.

Elles renferment presque toujours des lits de silex plus ou moins écartés et, disséminés çà et là, des nodules de marcassite ou des fossiles quelque fois silicifiés. Il arrive aussi que les diaclases renferment, en quantités variables, des sables siliceux parfois glauconieux.

Les silex résultent de la remise en mouvement et de la concentration de la silice des organismes de la craie (surtout de celle des spicules d'éponges). La concrétisation s'effectue généralement au contact de corps organiques en décomposition. Pour cette raison, les silex renferment souvent des débris d'organismes (oursins, spongiaires, inocérames, etc.). Cayeux a montré qu'ils étaient formés par l'association de l'opale et de la calcédonite. Dans la patine, la proportion d'opale s'élève, tandis que dans le corps inaltéré du silex, la calcédonite l'emporte très largement sur l'opale (56).

Les craies blanches types contiennent 97 à 99,5 pour cent de carbonate de calcium et sont constituées essentiellement par des enveloppes de foraminifères, d'algues microscopiques (Coccosphère, Rhabdosphères), par des particules calcaires amorphes et par une faible proportion d'impuretés.

Les résidus insolubles extraits de trois craies à Micraster présentaient les compositions suivantes :

	Lucheux (près Doullens)	Dreuil (près Amiens)	La Neuville-St-Pierre (Oise)
Colloïdes	69	64	76
Poussière	14	22	15
Sable fin	7	6	3
Sable grossier	6	3	2

Les éléments dont les dimensions sont inférieures à 2 μ sont formés par des colloïdes argileux, de l'hydrate ferrique et de la glauconie. Dans les éléments sableux nous avons identifié, à côté de débris de silex, des grains de quartz, de glauconie, de zircon et de feldspaths. Ces derniers, formés *in situ* d'après Cayeux, étaient d'ailleurs peu abondants dans les craies examinées.

Les craies à bélemnites sont généralement très pures ; il en est souvent de même des craies à Micraster, mais celles-ci présentent parfois des zones plus ou moins étendues, situées indifféremment dans le Coniacien ou dans le Santonien, formées d'une craie plus ou moins jaune, dure et noduleuse. Ce changement de faciès a été attribué à la dolomitisation, puis à la phosphatisation. En réalité, si les craies jaunes sont plus minéralisées que les craies blanches, l'enrichissement est faible et leurs caractères particuliers tiennent davantage à leur état physique qu'à leur composition chimique ; on y rencontre fréquemment des veinules formées de calcite cristallisée et la dureté est parfois suffisante pour que la roche puisse être utilisée pour la construction ou pour l'empierrement.

Rappelons aussi pour mémoire, que la craie présente d'autres faciès particuliers, les craies phosphatées et les craies magnésiennes, mais ces faciès, malgré leur importance, apparaissent très localisés.

b) *Les craies altérées.* — Aux affleurements, la craie se désagrège et se dissout partiellement. Les silex se brisent et se couvrent d'une patine blanche de néoformation parfois très épaisse ; les débris les plus fins donnent des graviers patinés ou brillants et des sables plus ou moins grossiers.

Corrélativement à la diminution du taux de calcaire, les taux d'éléments insolubles ou moins solubles que CO^3 Ca (éléments siliceux, colloïdes argileux et ferrugineux, etc.) augmentent dans de fortes proportions.

Dans les bois, la craie porte des *rendzines*, sols riches en humus, comportant un horizon foncé, peu profond et renfermant de nombreux débris calcaires de toutes dimensions.

Lorsque de tels sols sont défrichés et mis en culture, le labour mélange les premières couches et l'aération brûle en partie l'humus ; les sols diffèrent alors fortement des rendzines types.

Sur les pentes, où l'érosion enlève les éléments meubles au fur et à mesure de leur formation, la craie est seulement recouverte par une mince pellicule terreuse, blanchâtre, résultant de la division et du début de dissolution du calcaire. Ces sols rappellent de très près la roche qui leur donne naissance ; très calcaires, secs, blancs et peu profonds, ils sont connus des pédologues sous le nom de *rendzines blanches.*

Dès que la pente devient moins forte ou moins exposée, les produits de l'altération demeurent sur place et l'épaisseur de la craie altérée peut alors atteindre et même dépasser un mètre. Par suite de la dissolution partielle du calcaire, la terre n'est plus blanche, mais grise, brune ou rougeâtre ; elle contient des silex cassés et des morceaux de craie plus ou moins volumineux. Ces sols sont appelés des *sols bruns calcaires.*

Enfin, lorsque le sol résulte, soit de l'altération superficielle de craies colorées, soit d'un mélange d'argile à silex et de calcaire terreux, il est plus argileux, plus ferrugineux, souvent aussi plus humifère que le type normal correspondant. Suivant le cas, on est en présence de *rendzines rouges*, plus fréquemment *de sols bruns calcaires foncés.* Dans l'un et l'autre cas, le sol se caractérise par la nuance foncée de sa terre fine, nuance sur

laquelle tranche la couleur claire des débris de craie. Si, pour la Picardie, nous répartissons les sols sur craie blanche en catégories, en tenant compte uniquement de leur richesse en carbonates, nous obtenons les résultats suivants :

	Sols calcaires contenant pour cent		Sols crayeux contenant pour cent
	10 à 20 de CO_3Ca	20 à 40 de CO_3Ca	40 à 80 de CO_3Ca
	Sols bruns calcaires	Sols bruns calcaires et rendzines	Rendzines
Pour cent de terre brute :			
Cailloux et graviers	17,6	18,4	24,2
Pour cent de terre fine :			
Calcaire	14,4	29,8	52,3
Colloïdes	20,4	15,6	9,5
Poussière	17,2	15,1	10,4
Sable fin	39,4	29,1	18,9
Sable grossier	4,6	5,5	3,6
Matières organiques	4,2	5,1	5,2

Pour ces trois catégories, les compositions de l'insoluble, calculées en pour cent de la fraction non calcaire, sont extrêmement voisines ; il s'agit de stades différents de décalcification d'un seul et même sédiment.

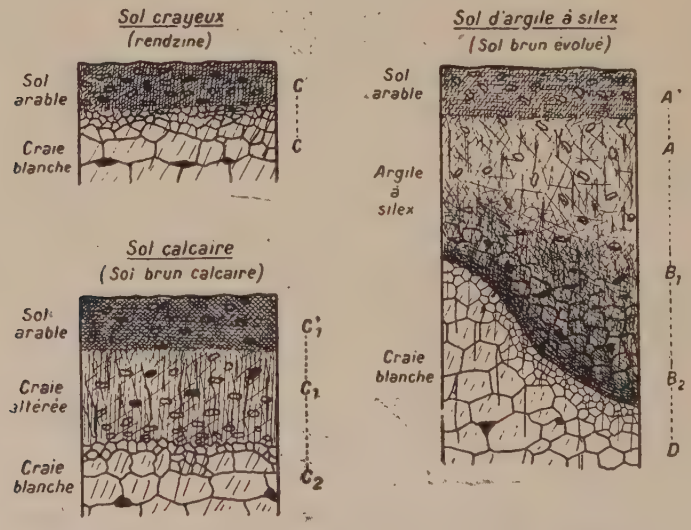

Fig. 6. —**Les sols sur craie blanche et sur argile à silex.**

Si l'on compare maintenant l'horizon superficiel (sol végétal ou arable) des sols calcaires et l'horizon immédiatement sous-jacent (sous-sol des agronomes), on voit que dans 50 pour cent des cas, le taux de calcaire augmente en passant du sol au sous-sol, tandis que dans les 50 autres cas ce taux demeure stationnaire.

La constitution argilo-siliceuse demeure la même dans les deux horizons 8 fois sur 10 ; voici cette constitution pour un grand nombre de sols reposant sur craie provenant presque tous du Paraclet près d'Amiens :

	Pour cent d'éléments argilo-siliceux	
	Sols 2 à 60 de CO_3Ca	Sous-sols 40 à 90 de CO_3Ca
Colloïdes	28,4	29,1
Poussière	20,5	19,5
Sable fin	44,3	44,0
Sable grossier	6,8	7,4

Le sol dérive donc directement et uniquement du sous-sol par décalcification naturelle.

c) *L'argile à silex.* — En maints endroits la craie, au lieu d'être recouverte par des sols crayeux ou calcaires, se trouve masquée par de l'argile à silex.

Le contact entre les deux formations dessine des lignes irrégulières et sinueuses : des poches argileuses pénètrent la craie et des saillies crayeuses l'argile ; les poches argileuses sont généralement pointues vers le bas et forment parfois, en suivant les fissures de la craie, de véritables puits naturels pouvant atteindre dix mètres de profondeur.

Sur les coupes, le terrain à silex apparaît diversement teinté, sa couleur va du gris très clair au brun foncé en passant par toute une gamme de jaunes et de rouges. Il contient, parfois beaucoup, parfois très peu, de silex entiers ou cassés, couverts d'une patine blanche ou colorée.

Très généralement, une mince couche brune extrêmement argileuse tapisse la surface de la craie et, en se rapprochant de la surface topographique, la teinte devient de plus en plus claire ; elle redevient plus foncée au voisinage immédiat de la surface par suite de l'enrichissement en matières humiques.

D'autre part, tandis qu'en profondeur les silex sont fréquemment entiers ou à peu près, ils sont presque toujours brisés au voisinage du sol.

Nulle part en Picardie, ces terrains à silex n'atteignent la puissance qu'on leur reconnaît ailleurs, par exemple dans le Sud-Ouest ou l'Ouest du Bassin parisien ; à l'heure actuelle les plus grandes épaisseurs directement observables ne dépassent pas quatre mètres (Extraction de phosphates d'Hallencourt, sablière de Neuville-Coppegueule) ; le plus souvent, cette épaisseur est beaucoup plus réduite et parfois même de l'ordre de quelques dizaines de centimètres seulement.

Cet ensemble comporte à côté de sédiments extrêmement argileux, d'autres qui le sont beaucoup moins, mais apparaissent comme liés aux précédents par une parenté indéniable ; ils satisfont aux conditions essentielles énumérées par Brajnikov, conditions qui donnent une définition très satisfaisante de ces formations : elles occupent presque toujours une position assez voisine de la surface, recouvrent la craie et sont constituées par des silex empâtés dans une masse argilo-siliceuse.

Les terrains à silex renferment en moyenne 15 pour cent de cailloux et graviers (silex entiers ou cassés, blancs, gris, bruns ou rougeâtres, débris d'Inocérames silicifiés, exceptionnellement Micrasters ou bélemnites). Leur constitution varie très largement entre des extrêmes sableux et argileux. Voici, pour le département de la Somme, les constitutions moyennes des argiles à silex, puis, à titre d'exemple, la constitution d'un limon sableux à silex, prélevé en surface à Neuville-Coppegueule, et d'une glaise à silex provenant d'Hallencourt (prélèvement effectué à 2 m. 50 de profondeur) :

	Composition moyenne		Sol de Neuville-Coppegueule	Niveau profond d'Hallencourt
	Totalité des profils	Horizon superficiel		
Colloïdes	36,8	21,3	5,9	83,4
Poussière	14,3	19,8	15,8	4,1
Sable fin	37,2	49,1	68,3	8,3
Sable grossier	8,0	5,8	6,9	0,0

La surface est souvent sableuse, mais le taux de colloïdes augmente régulièrement en profondeur pour atteindre, au contact de la craie, une valeur comprise entre 50 et 85 pour cent.

L'examen de la terre fine à l'œil nu permet d'identifier des débris de silex anguleux, des débris de patines notamment, et l'examen microscopique nous révèle la présence dans les sables, de débris de silex plus fins mais encore nettement caractérisés, de grains de quartz d'autant plus anguleux qu'ils sont plus petits, de grains de glauconie, de tables feldspathiques et parfois, exceptionnellement, de très belles globigérines silicifiées. L'examen des plaques minces prouve que les sables sont surtout constitués par du quartz.

d) *Filiation des terrains crayeux et à silex ; Origine de l'argile à silex.* — La recherche du mode de formation de l'argile à silex soulève un problème difficile. Si l'on envisage en effet la question dans son ensemble, on se trouve en présence, d'une part de craies massives et d'argile à silex *sensu stricto* qui, l'une et l'autre, ne renferment comme insoluble, en plus des silex, qu'un produit extrêmement colloïdal, d'autre part, de craies altérées et de sols à silex argilo-siliceux ou silico-argileux qui contiennent en plus une proportion importante d'éléments sableux.

Ce qui est difficile à expliquer, ce n'est pas la transformation des craies altérées en terrains à silex, mais bien le passage des craies massives aux craies altérées ; au cours de ce passage, un très grand nombre de silex disparaissent, corrélativement il y a apparition de sables. Fait remarquable, pour les exemples étudiés les quantités de sables apparus au cours de la transformation sont sensiblement égales aux quantités de silex disparus.

Il existe de nombreux intermédiaires entre la craie inaltérée et les terrains décalcifiés à silex ; on peut les rencontrer :

— Soit verticalement sur une même coupe et l'on observe fréquemment la succession:

Terrain décalcifié à silex ;
Craie altérée jaunâtre ;
Craie inaltérée blanche ;

— Soit horizontalement sous forme d'affleurement distincts : les horizons superficiels correspondent alors respectivement à des sols crayeux, à des sols calcaires, à des sols non calcaires à silex.

Les sols crayeux et calcaires, leurs sous-sols, la craie altérée que l'on rencontre souvent sous l'argile à silex, l'argile à silex elle-même, ont, en moyenne, et au calcaire près, même constitution immédiate ; c'est dire que la décalcification naturelle conduira nécessairement des formes les plus calcaires à la forme décalcifiée, en passant par tous les stades intermédiaires.

Pour faire apparaitre l'identité qui existe entre l'argile à silex et l'insoluble extrait de la craie altérée sous-jacente, il convient, la composition du terrain à silex variant avec la profondeur, de comparer à la craie altérée, non pas un prélèvement isolé, mais bien toute l'épaisseur du terrain à silex. Les chiffres ci-après se rapportent à la moyenne des compositions de prélèvements répartis régulièrement depuis la surface topographique jusqu'à la craie altérée. Il s'agit ici d'une coupe relevée au bois de Lucheux au Nord-Est de Doullens :

	Terrains à silex	Craie altérée
Pour cent de terre fine :		
Calcaire	0,2	93,6
Pour cent d'éléments argilo-siliceux :		
Colloïdes	38,8	37,2
Poussière	16,4	15,1
Sable fin	41,3	44,5
Sable grossier	3,5	3,2

Cette identité ne peut d'ailleurs s'observer qu'à la condition expresse que le sol soit soustrait à l'érosion, comme cela a lieu à l'abri des forêts ou sur les surfaces suffisamment horizontales.

L'évolution normale de la craie jaunâtre altérée, que l'on observe un peu partout à la surface de la craie blanche, entre celle-ci et le niveau argileux, entraînera fatalement la formation d'un terrain à silex, en tous points comparables au terrain de recouvrement.

De même, l'attaque par les eaux météoriques des terres blanches crayeuses amènera obligatoirement la formation de terres calcaires grises ou diversement colorées, puis, successivement, de terres rouges et argileuses de plus en plus décalcifiées et de terrain non calcaire à silex, terme final de la transformation.

2° Autres calcaires.

Voici les analyses de trois échantillons représentant les principaux niveaux calcaires du Bassin de Paris :

	Calcaire grossier MONTIGNY (Aisne)	Calcaire de St-Ouen NANTEUIL (Oise)	Calcaire de Beaune TOURY (Eure-et-Loir)
Calcaire	94,6	93,8	91,2
Pour cent d'éléments insolubles :			
Colloïdes	32,4	84,2	66,7
Poussière	11,3	5,2	20,4
Sable fin	54,5	10,6	11,8
Sable grossier	1,8	0	1,1

Les résidus insolubles des calcaires de Saint-Ouen et de Beauce sont comparables à l'insoluble que l'on peut extraire des craies blanches ; le calcaire grossier est bien moins argileux, bien plus siliceux.

La dissolution du calcaire grossier par les eaux chargées de gaz carbonique, est un fait bien connu et qui a attiré depuis fort longtemps l'attention ; cette dissolution a en effet déterminé la formation de puits naturels, dont beaucoup sont remarquables par leur profondeur. Ces puits contiennent, à côté de l'argile résiduelle rouge, des matériaux divers provenant des formations qui reposaient sur le calcaire grossier, notamment des limons.

Les trois calcaires sont recouverts de rendzines ou d'argiles qui rappellent, dans une certaine mesure, les sols calcaires et les argiles à silex de Picardie.

Voici les compositions extrêmes et moyennes des sols sur calcaire grossier et les mêmes indications concernant le calcaire de Beauce :

	Rendzines sur calcaire grossier			Rendzines et argiles résiduelles sur calcaire de Beauce		
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
Calcaire	10,7	20,5	39,3	0	9,4	30,8
Colloïdes	4,3	12,0	16,3	17,7	24,7	43,3
Poussière	3,4	17,4	24,7	15,9	22,5	28,7
Sable fin	22,7	41,3	62,8	24,2	35,6	46,7
Sable grossier	4	5,0	13,5	1,3	4,8	10,1

Dans les trois cas, les rendzines sont peu épaisses et reposent directement sur le calcaire ; à la manière des argiles à silex, les argiles résiduelles comportent des horizons lessivés, plus ou moins sableux, recouvrant des horizons compacts, extrêmement riches en colloïdes argileux.

3° Les marnes.

Les marnes du Bassin de Paris nous ont donné entre autres, les exemples suivants :

	Marne de Marquéglise (*) MUIRANCOURT (Oise)	Marnes supragypseuses		Marnes à huîtres VILLEJUIF (Seine)	
		BLANDY-LES-TOURS (S.-et-M.)	MORTCERF (S.-et-M.)	blanche	jaune
Calcaire . . .	51,0	66,0	51,2	88,6	65,1
Colloïdes . . .	25,5	21,8	36,5	2,0	6,2
Poussière . .	11,5	3,8	4,2	0,7	2,3
Sable fin . . .	7,5	5,0	2,1	7,2	25,3
Sable grossier	0,8	0,7	1,8	0,1	0,8

Conformément à leur définition, ces marnes sont moins riches en carbonate de calcium, plus riches en argile, que les calcaires proprement dits. Leur insoluble comme ceux de la craie, des calcaires de Saint-Ouen et de Beauce est extrêmement colloïdal ; les marnes à huîtres examinées font cependant exception, leur insoluble est plus sableux qu'argileux.

4° Les argiles.

En plus des argiles de décalcification dont nous venons de parler (argiles à silex des pays crayeux, sols argileux sur calcaire grossier, sur calcaire de Saint-Ouen et sur calcaire de Beauce) on rencontre dans le Bassin de Paris une certain nombre d'autres formations argileuses ; voici quelques données analytiques concernant les plus importantes :

	Argile plastique BEINES (Oise)	Argile verte de la Brie MORTCERF (S.-et-M.)
Calcaire	0	2,0
Colloïdes	71,7	67,4
Poussière	20,5	19,5
Sable fin	5,4	9,3
Sable grossier	0,7	traces

L'argile à meulière se rencontre à faible profondeur, ou même à la surface dans presque toute la Brie ; elle se présente sous la forme d'une argile grisâtre ou rougeâtre empâtant des blocs irréguliers et plus ou moins caverneux de meulière.

Voici les limites et les moyennes relatives à cette formation :

	Argile à meulière de la Brie (Horizons profonds)			Sols sur argile à meulière (Horizon superficiel)		
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
Cailloux et graviers .	31,0	52,3	71,7	10,2	15,4	31,0
Calcaire	0	0,2	0,7	0	0,5	1,7
Colloïdes	26,8	41,0	55,5	8,7	14,4	21,9
Poussière	3,3	8,4	18,0	15,1	17,7	19,1
Sable fin	22,3	36,7	50,4	46,8	53,1	65,3
Sable grossier . . .	6,0	10,9	17,3	5,7	11,2	16,4

(*) La marne de Marquéglise est le niveau calcaire et riche en glauconie qui termine par le haut l'assise de Bracheux dans une bonne partie du Noyonnais.

Les sols sur argile à meulière rappellent les sols sur argile à silex ; on observe un passage progressif des horizons supérieurs relativement sableux, à la roche mère généralement très argileuse ; nous n'avons jamais rencontré cependant parmi les meulières sannoisiennes de niveaux renfermant 60 pour cent et plus de colloïdes comme on en rencontre presque partout dans les argiles à silex.

5° **Les sables.**

En ce qui concerne les sables, les données analytiques les plus intéressantes, parce que les plus caractéristiques, sont apportées par les mesures granulométriques ; cependant, si certains sables ne renferment pratiquement ni colloïdes, ni poussières, d'autres en contiennent des proportions qui sont loin d'être négligeables ; ainsi les sables glauconieux, situés à la base du Thanétien (Glauconie de la Fère), renferment plus de 10 pour cent de colloïdes sept fois sur seize. De plus, la glauconie en grains se transforme très aisément en colloïdes argileux.

Ces sables répondent aux constitutions suivantes :

	Glauconie de la Fère		
	min.	moy.	max.
Calcaire	0	0,3	1,7
Colloïdes	1,7	6,9	11,5
Poussière . . .	1,0	4,8	25,0
Sable fin	2,8	57,1	91,4
Sable grossier .	0	30,3	93,9

Certains renferment presque uniquement du sable grossier, d'autres seulement du sable fin et il existe tous les cas possibles entre ces deux extrêmes ; de toutes façons, la dimension dominante est voisine de la limite de séparation entre les sables fins et grossiers.

Certaines roches désignées sous l'appellation de sable, n'ont du sable que le nom ; en voici deux exemples :

En Picardie, les sables de Sinceny (Yprésien) sont caractérisés par la présence de quantités de galets avellanaires noirs et réguliers ; ces galets sont empâtés, non pas par des sables, mais par des limons, souvent même par des limons argileux.

De même, le sable de Lozère n'est pas à proprement parler un sable ; voici deux analyses se rapportant à ce niveau :

	Sable de Lozère	
	TRAPPES (La Revanche)	LION en Beauce
Graviers	54,4	42,0
Calcaire	0	0,5
Colloïdes	25,4	49,5
Poussière	8,9	5,7
Sable fin	28,7	12,4
Sable grossier . .	35,9	24,3

La pauvreté en poussières, la teneur élevée en sable grossier, accroissent bien le caractère sableux du sédiment, mais la richesse en colloïdes diminue considérablement ce caractère.

Ces formations seraient désignées plus correctement sous le nom de galets de Sinceny et de graviers de Lozère, puisque, dans le premier cas, c'est la présence des galets qui est la véritable caractéristique du milieu, dans le second, la présence des graviers.

B) Granulométrie des sables

On sait l'intérêt qui s'attache à cette détermination : dans les zones superficielles, le calcaire et les colloïdes argileux sont en perpétuelle migration ; la finesse des éléments sableux représente une donnée relativement plus fixe, moins soumise au dynamisme général.

	Pour cent de sables					
	I 0m/m02 à 0m/m06	II 0m/m06 à 0m/m15	III 0m/m15 à 0m/m3	IV 0m/m3 à 0m/m6	V 0m/m6 à 1m/m2	VI 1m/m2 à 2m/m
1. Craie blanche (Crécy)	50,9	29,7	15,8	2,4	1,2	0
2. Boue crayeuse (Mers)	62,3	25,3	7,3	2,9	2,2	0
3. Limon à silex (Vergies)	77,8	9,3	3,9	3,0	3,3	2,7
4. Argile à silex (Yonval)	63,9	20,8	8,0	5,1	1,5	0,7
5. Glauconie de la Fère (Morlancourt)	3,3	73,6	21,4	1,1	0,4	0,2
6. Sable de Bracheux (Rollot)	1,6	5,3	78,7	14,0	0,4	0
7. Marne de Marquéglise (Muirancourt)	43,4	40,8	14,5	0,7	0,4	0,2
8. Argile plastique (Beines)	95,4	3,7	0,6	0,3	0	0
9. Sable de Sinceny (Lihons)	5,0	23,6	66,7	3,8	0,1	0,8
10. Sable de Cuise (Attichy)	0,2	5,6	88,7	5,1	0,2	0,2
11. Calcaire grossier (Hautefontaine)	36,3	56,1	7,9	0,3	0	0
12. Calcaire de Saint-Ouen (Nanteuil)	63,6	9,3	13,9	10,6	2,6	0
13. Marnes supragypseuses (Blandy-les-Tours)	74,7	21,5	2,3	0,8	0,5	0,2
14. Argile verte (Mortcerf)	92,9	5,3	1,2	0,4	0,2	0
15. Argile à meulière (Trésigny)	30,7	23,5	24,2	12,4	6,7	2,5
16. Marne à huîtres (Villejuif)	67,4	28,6	0,6	2,0	0,8	0,6
17. Sable de Fontainebleau (Villejuif)	3,8	88,0	7,8	0,4	0	0
18. Calcaire de Beauce (Lion-en-Beauce)	46,9	11,8	15,9	13,8	7,4	4,2
19. Sable de Lozère (Trappes)	19,8	14,5	10,0	10,9	24,0	20,8
20. Sable des dunes (Quend-Plage)	0,4	0,8	63,7	34,9	0,2	0

Si nous considérons la fraction la plus fine, fraction particulièrement importante en ce qui nous concerne, les échantillons examinés classent les formations de la manière suivante :

Taux de sable très fin (de 20 à 60 μ) évalué en pour cent de sable :

Inférieur à 25	Compris entre 25 et 50	Compris entre 50 et 75	Supérieur à 75
Sable de Cuise.	Argile à meulière.	Craie blanche.	Limon à silex.
Sable des dunes.	Calcaire grossier.	Boue crayeuse.	Argile verte.
Sable de Bracheux	Marne de Marquéglise.	Calcaire de Saint-Ouen.	Argile plastique.
Glauconie de la Fère	Calcaire de Beauce	Argile à silex.	
Sable de Fontainebleau.		Marnes à huîtres.	
Sable de Sinceny.		Marnes supragypseuses.	
Sable de Lozère.			

Il va sans dire que la considération d'un seul résultat par formation géologique ne nous autorise pas à établir des conclusions définitives et nous connaissons par exemple, des argiles à meulière et des calcaires grossiers beaucoup plus fins que les échantillons provenant de Trésigny et de Hautefontaine ; le tableau précédent nous enseigne cependant

que la plupart des calcaires, des marnes et des argiles du Bassin de Paris, sont fins ou très fins, alors que les sables, quels qu'ils soient, se classent à part par leur manque de finesse.

C) Composition élémentaire

A titre indicatif, voici la composition globale de quelques échantillons de roches du Bassin de Paris :

	Craie blanche à Belemnitella quadrata VILLERS-CARBONNEL	Craie jaune à Micraster cor-anguinum VILLERS-CARBONNEL	Argile à silex argileuse POIX	Argile à silex sableuse NEUVILLE-COPPEGUEULE
SiO^2	0,58	1,42	56,8	82,4
Al^2O^3	0,17	0,11	15,3	5,0
Fe^2O^3	0,08	0,56	9,5	4,1
CaO	55,3	54,4	2,1	0,7
MgO	0,14	0,18	1,1	0,6
P^2O^5	0,07	0,12	—	—

	Argile plastique BEINES	Glauconie de la Fère sable vert MORLANCOURT	Glauconie de la Fère sable rouge MORLANCOURT	Galets de Sinceny LIHONS
SiO^2	57,5	79,6	81,5	75,3
Al^2O^3	25,3	1,7	1,0	7,1
Fe^2O^3	3,7	7,3	12,1	5,0
CaO	1,2	—	—	1,8
MgO	0,5	—	—	0,7
P^2O^5	—	0,03	0,01	—

Ces résultats pourraient être appuyés par ceux correspondant à la solubilité dans les acides concentrés bouillants ; par exemple par les données moyennes suivantes :

	Sols crayeux (52 p. cent de calcaire)	Sols calcaires (31 p. cent de calcaire)	Sols d'argile à silex (0,5 p. cent de calcaire)
Al^2O^3	2,39	3,02	4,18
Fe^2O^3	1,35	2,12	3,23
CaO	31,40	18,10	0,35
MgO	0,15	0,17	0,21
K^2O	0,17	0,20	0,16
Mn	0,08	0,06	0,07
P^2O^5	0,24	0,22	0,11
Insoluble	32,50	56,40	85,20

L'examen de tous ces résultats et la comparaison avec ceux correspondant aux limons amènerait aux mêmes conclusions que l'examen des constitutions immédiates, ce qui était d'ailleurs à prévoir.

D) Conclusions

L'examen des tableaux d'analyse et des exemples, donnés au cours du présent chapitre, conduisent aux conclusions générales suivantes :

Les argiles résiduelles associées aux calcaires et aux marnes, l'argile plastique, l'argile verte de la Brie, les argiles à Meulières, les graviers de Lozère, contiennent tout ce qui est nécessaire à la formation de la partie non calcaire des limons, c'est-à-dire des colloïdes argileux et de la silice suffisamment fine ; certaines de ces formations, ou certains

éluviums dérivés méritent même l'appellation de limon et l'on peut ainsi parler de limons à silex, à meulières, ou de limon de Sinceny.

Quant à la partie calcaire des limons, elle ne peut évidemment provenir que des calcaires et des marnes, soit directement, soit par l'intermédiaire d'alluvions fluviatiles

Seuls les véritables sables n'ont pu participer à la formation du sédiment pléistocène que dans une faible mesure ; leur intervention est d'ailleurs particulièrement facile à déceler.

CHAPITRE IV

INFLUENCE DES ROCHES SOUS-JACENTES OU VOISINES SUR LA CONSTITUTION DES LIMONS

Comme nous l'avons montré au chapitre II, la constitution des limons varie d'une région à l'autre, et même souvent à l'intérieur d'une même région. Nous avons vu d'autre part au chapitre III qu'il existe dans chaque région, des roches non limoneuses dont la constitution ressemble beaucoup à celle des limons. Dans bien des cas, il est possible d'établir que la variation de constitution des limons s'effectue parallèlement à la variation qui affecte la composition du substratum géologique et de ses divers produits d'altération.

L'influence des sables est facile à mettre en évidence, les éléments siliceux qu'ils contiennent étant bien plus grossiers que les éléments siliceux habituellement renfermés par les limons ; au contraire, l'influence des argiles ne peut guère être mise en évidence que par voie statistique, les limons contenant toujours une notable proportion de colloïdes, dont la nature ne diffère pas nettement, en première approximation tout au moins, de celle des colloïdes que l'on peut extraire des autres roches sédimentaires du Bassin de Paris.

A) Influence des sables

Certains sables sont remarquablement fins ; par ses dimensions cependant, la silice provenant des sables, apparaît comme une substance étrangère, comme une impureté, mélangée au limon et ce mélange se décèle aisément par la granulométrie.

1° Exemples.

Partout où ils reposent sur les sables thanétiens (Glauconie de la Fère ou Sable de Bracheux), les limons de Picardie et des régions circonvoisines, renferment une certaine proportion de silice grossière ou moyennement fine.

Ainsi, à Saveuse, à Chaulnes, à Esmery-Hallon, à Lihons, à Morlancourt, à Marissel (Points nos 18, 42, 44, 47, 51, 71), l'horizon superficiel du limon contient de 4,2 à 56,9 pour cent de sable grossier.

Dans les pays tertiaires, ou même en Picardie au contact des témoins éocènes, l'ergeron des pays crayeux est remplacé par un limon jaunâtre, très sableux (66) et un peu calcaire ; voici deux analyses concernant ce limon :

	CHAULNES (Point n° 42)	RESSONS-SUR-MATZ (Point n° 73)
Calcaire	7,4	7,7
Colloïdes	20,7	13,2
Poussière	19,8	12,1
Sable fin	41,5	62,9
Sable grossier	7,6	2,4

A Chaulnes, la glauconie de la Fère sous-jacente contenait 54 pour cent de sable grossier ; aussi le taux de sable grossier n'est-il pas négligeable dans le limon.

A Ressons-sur-Matz, les quantités de sable grossier contenues dans le limon sont très faibles, mais la granulométrie montre que malgré cela la silice est loin d'être fine. En ce lieu précis (La Petite Remise), le limon repose, d'après de Mercey, sur le sable de Bracheux (165), mais le contact entre le limon et les sables n'est plus visible aujourd'hui.

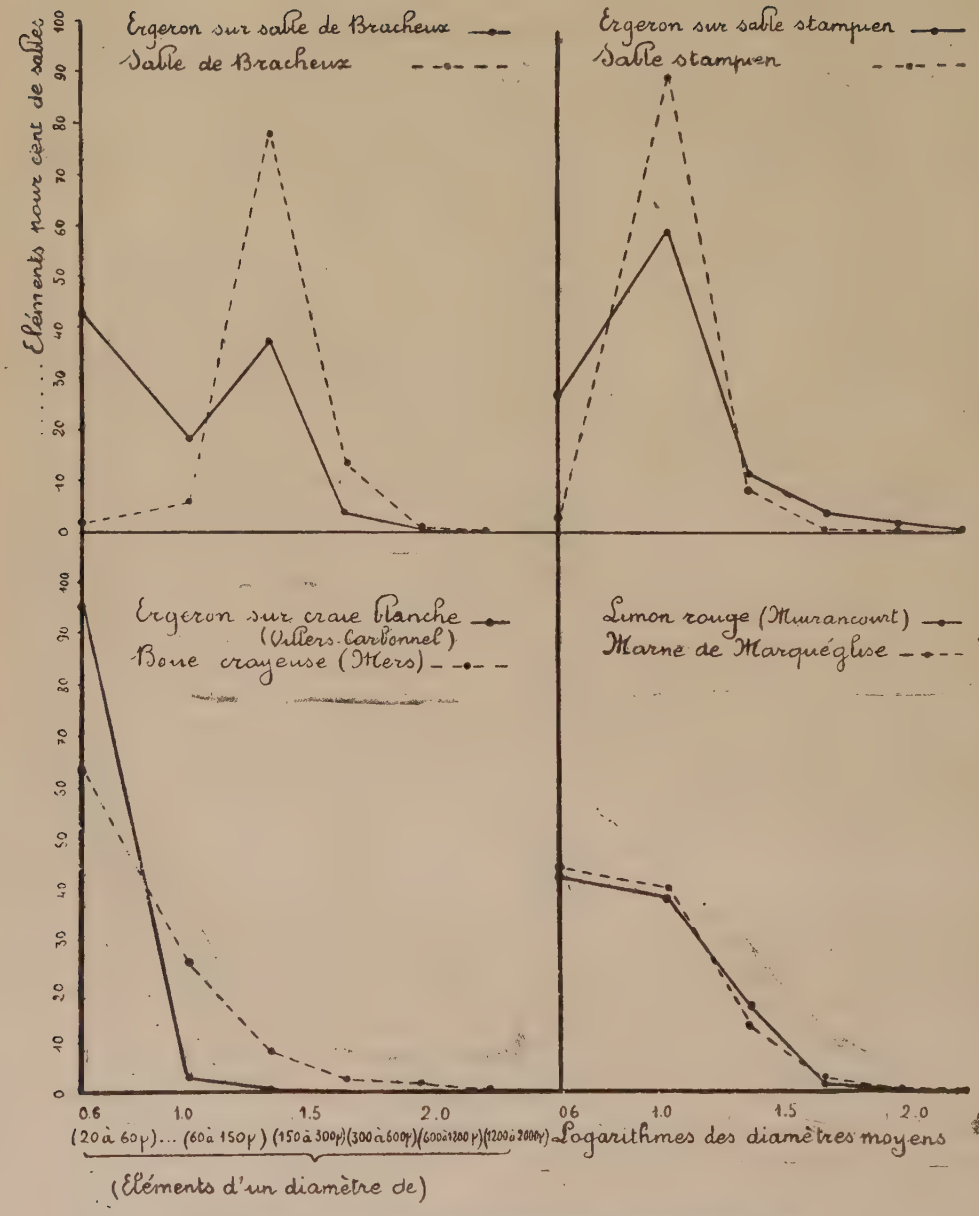

Fig. 7. — **Exemples de diagrammes granulométriques** (*).

(*) Les diagrammes correspondant à des limons très fins, comparables à celui relatif à l'ergeron sur craie blanche de Villers-Carbonnel, sont fréquents ; on en obtient de tels avec de nombreux ergerons (Hautefontaine, Plailly, Rosières, Villejuif, Villers-Bretonneux, etc.), et avec les terres à briques dérivées. Mais la finesse comme la constitution immédiate est essentiellement variable et il arrive, c'est le cas à Villejuif, qu'il existe, côte à côte, des ergerons très fins et d'autres qui le sont beaucoup moins.

Or, si le sable de Bracheux est souvent assez grossier, comme à Marissel, par exemple, il n'en est pas toujours ainsi et il nous semble légitime de comparer le limon de Ressons-sur-Matz au sable de Bracheux extrait d'une sablière située dans la même zone :

		Pour cent de sables	
		RESSONS-SUR-MATZ (Point n° 73) Limon	ROLLOT (Sablière) Sable de Bracheux
I	0 mm 02 à 0 mm 06	43,4	1,6
II	0 mm 06 à 0 mm 15	18,2	5,3
III	0 mm 15 à 0 mm 30	36,8	78,7
IV	0 mm 30 à 0 mm 60	1,5	14,0
V	0 mm 60 à 1 mm 20	0,1	0,4
VI	1 mm 20 à 2 mm 00	0	0

La parenté entre les deux formations est hautement probable ; le diagramme granulométrique du limon présente deux caractéristiques différentes, la branche ascendante des ergerons, des terres à briques, ou autres limons fins, et un maximum qui rappelle celui du sable de Bracheux (*).

Les ergerons reposant sur le sable de Fontainebleau montrent des faits exactement analogues :

		Pour cent de sables		
		MORANGIS (Point n° 88)	VILLEJUIF Point n° 90)	
I	0 mm 02 à 0 mm 06	25,8	60,1	81,7
II	0 mm 06 à 0 mm 15	58,5	29,7	11,5
III	0 mm 15 à 0 mm 30	11,4	8,5	5,1
IV	0 mm 30 à 0 mm 60	3,4	1,6	1,7
V	0 mm 60 à 1 mm 20	0,9	0,2	0
VI	1 mm 20 à 2 mm 00	0	0,1	0

La finesse est ici nettement plus grande que lorsque le limon repose sur les sables thanétiens, mais les sables de Fontainebleau sont aussi bien plus fins que ces derniers ; la majeure partie de leurs grains se classent dans la fraction II au lieu de se classer dans les fractions III ou IV. L'échantillon de Morangis est constitué pour plus d'un tiers par des grains ayant la dimension des grains du sable de Fontainebleau.

Nous avons donné à dessein un autre exemple (celui de l'ergeron de Villejuif) où l'influence du sable est beaucoup moins nette ; il s'agit cette fois d'un échantillon prélevé en un endroit où l'ergeron est particulièrement épais ; il est malgré cela beaucoup moins fin que bien d'autres ergerons, que les ergerons sur craie blanche par exemple.

Les diagrammes granulométriques seraient loin d'être tous aussi démonstratifs que ceux figurés ci-contre, mais il est déjà remarquable que l'on puisse rapprocher de tels graphiques.

Dans la Brie, subsistent un peu partout de nombreux îlots de sable de Fontainebleau ; les sols de limon situés à plus de 6 kilomètres des buttes stampiennes ou séparés de celles-ci par des vallées ou des replis de terrain sont nettement plus fins que les sols de limon situés dans la zone d'influence des sables.

(*) Ces diverses caractéristiques n'existent qu'en fonction des limites de fractionnement et du mode de représentation choisis, mais si l'on choisissait d'autres limites et une autre figuration, les caractéristiques obtenues, pour n'être pas les mêmes, n'en seraient pas moins probantes.

Pour cent de sables	Horizon superficiel des limons de la Brie					
	Zone d'influence des sables			Zone protégée		
Eléments compris entre	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
I 0 mm 02 et 0 mm 06	37,4	60,4	82,2	89,7	91,9	94,9
II 0 mm 06 et 0 mm 15	7,9	22,6	44,0	3,5	5,0	7,6
III 0 mm 15 et 0 mm 30	2,5	9,7	18,4	0,7	1,5	2,3
IV 0 mm 30 et 0 mm 60	1,0	4,3	8,2	0,3	0,8	1,5
V 0 mm 60 et 1 mm 20	0,4	2,2	5,2	0,1	0,5	1,4
VI 1 mm 20 et 2 mm 00	0,1	0,8	1,9	0	0,3	0,7

Le taux d'éléments d'un diamètre supérieur à 60 μ est donc bien plus élevé dans la première zone que dans la seconde, différences qui se justifient pleinement puisque, malgré leur grande finesse, les sables de Fontainebleau, dans leur presque totalité, ne traversent pas la maille de 0 mm 06.

Fait remarquable, nous n'avons eu à enregistrer aucun chevauchement entre les deux séries de spectres granulométriques.

Les différences sont donc considérables. Elles se retrouvent dans les horizons profonds comme dans l'horizon superficiel et lorsque ces niveaux existent, dans l'ergeron comme dans la terre à briques ; à Jouarre, à Montauglaust, à Montgoins, à Mortcerf (Points nos 99, 102, 103, 104), dans la zone protégée, le taux de sable très fin (compris entre 0 mm 02 et 0 mm 06) oscille entre 90 et 99 pour cent quelle que soit la profondeur du prélèvement, tandis qu'à Châtres, le Maupas, Liverdy, Nangis ou Villeneuve-Saint-Denis (Points nos 96, 101, 105, 108), dans la zone d'influence des sables, ce même taux est compris entre 46 et 82 pour cent de sables.

2° Discussion statistique.

De tels résultats semblent hors de discussion ; il peut cependant sembler intéressant de déterminer leur degré de probabilité, c'est-à-dire de chercher à connaître la validité des conclusions. Cela est possible, nos résultats analytiques étant justiciables, comme d'ailleurs tous les résultats chiffrés obtenus en nombre suffisant, des méthodes d'analyse statistique. Nos déterminations concernant les horizons superficiels des limons de la Brie se prêtent parfaitement bien à ce genre d'étude.

a) *Probabilité.* — Pour ce calcul, nous avons groupé, d'une part, les sols reposant directement sur les sables, ou au voisinage immédiat des buttes sableuses (distance inférieure à 1 km 500), de l'autre, les sols protégés contre l'action des sables, soit par la distance (distance supérieure à 9 kilomètres), soit par l'interposition de vallées plus ou moins profondes. La variable retenue pour cette étude est le pourcentage, rapporté à la terre fine, des sables ne traversant pas la maille de 60 μ :

Zone d'influence des sables	Éléments plus grands que 60 μ	Zone protégée	Éléments plus grands que 60 μ
Blandy (Sud)	44,7	Cramayel	9,6
Courmignoust	20,6	Jouarre	6,2
Doue	5,6	Montanglaust I	2,7
Guignes	15,9	Montanglaust II	4,8
Les Loges	9,8	Montgoins	5,2
Marles	33,4	Mortcerf	3,1
Milly	30,4	Petit Courrois	4,4
Nangis Nord (*)	32,0	Saints	3,4
Nangis Ouest	18,9	Villers	5,6
Moyennes	23,5		5,0
Sommes de d^2	1262		35
Ecart absolu moyen : $E = \frac{\Sigma d}{n}$	10,4		1,5
Ecart quadratique moyen : $S = \sqrt{\frac{\Sigma d^2}{n}}$	11,8		2,0

Nous devons nous demander si la différence entre les deux séries (18,5) est significative ou si elle peut être raisonnablement imputée au hasard. Auparavant, il faut établir si, comme c'est vraisemblable, nos données analytiques se répartissent suivant une distribution normale.

A première vue, il en est bien ainsi puisque la courbe des fréquences est sensiblement symétrique et en cloche (courbe de Gauss) ; le calcul vérifie d'ailleurs entièrement cette impression puisque l'on a :

	Valeurs théoriques	Valeurs expérimentales : Zone d'influence des sables	Valeurs expérimentales : Zone protégée
E : S	0,80	0,88	0 75
Proportion d'observations comprise dans l'intervalle :			
M ± 0.675 S	50 p. cent	44 p. cent	56 p. cent
M ± S	68 —	67 —	78 —
M ± 2 S	95 —	100 —	89 —

Si nous tenons compte du fait que les proportions ne peuvent être égales qu'à 44, 56, 67, 78, 89 ou 100, puisque nous disposons de 9 échantillons dans les deux séries, nous devons conclure que l'accord entre la courbe théorique et nos courbes expérimentales est remarquable. Les pourcentages observés sont les plus proches possibles des pourcentages théoriques sauf dans un cas : la différence qui existe dans la deuxième série entre la proportion d'observations comprises dans l'intervalle M ± S et la proportion théorique résulte d'ailleurs du décalage d'un seul résultat.

Les séries obtenues avec une dizaine de données biométriques, séries couramment interprétées à l'aide des mêmes méthodes statistiques, ne donnent pratiquement jamais un accord comparable à l'accord enregistré ici.

Il nous faut maintenant comparer nos deux séries ; nous voulons savoir si l'on peut admettre qu'elles représentent une même population ou au contraire deux populations

(*) Moyenne pour trois prélèvements effectués à faible distance les uns des autres sur la butte de Nangis.

différentes : d'après Fisher dans l'hypothèse d'une population unique, la meilleure estimation de la variance est donnée par la formule :

$$S^2 = \frac{\Sigma\ (d_1 - m_1)^2 + \Sigma\ (d_2 - m_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

où $n_1 + n_2 - 2$ représente le degré de liberté.

En appliquant à nos séries nous trouvons $S = 9$.

Le critérium t de Fisher est égal à

$$t = \frac{m_1 - m_2}{S\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

ce qui donne pour l'ensemble formé par les deux séries $t = 4{,}5$.

Dans ces conditions, des tables de Fisher on peut déduire par extrapolation que la probabilité d'obtenir par hasard un écart égal ou supérieur à celui qui est observé entre les moyennes des deux séries, est supérieure à une chance sur mille ; c'est là une valeur qui dépasse de beaucoup les probabilités que l'on est habitué à rencontrer dans les calculs de ce genre, et l'on peut dire que la certitude de la conclusion est pratiquement absolue : les différences entre les deux séries ne sont aucunement dues au hasard, mais bien au groupement intervenu, c'est-à-dire que les *différences observées dans la finesse des limons de la Brie sont uniquement dues à l'influence des sables de Fontainebleau.*

b) *Corrélation.* — La teneur en éléments grossiers des limons de la Brie apparaît comme une fonction de la distance qui sépare ceux-ci des buttes stampiennes ; on peut dire aussi, ce qui revient d'ailleurs au même, qu'il y a corrélation entre ces deux variables.

Pour essayer de préciser cette corrélation, il est possible de calculer un coefficient qui différera d'autant moins de ± 1, que l'on se rapprochera davantage d'une fonction linéaire.

D'après la théorie de la corrélation, ce coefficient est égal au rapport qui existe entre la somme du produit des écarts et le produit des écarts types des deux séries, multiplié par le nombre d'éléments. Pratiquement, on a :

$$r = \frac{\Sigma\ dxdy}{\sqrt{\Sigma\ (dx)^2\ \Sigma\ (dy)^2}}$$

Pour l'application de cette formule, nous n'avons pas retenu les prélèvements correspondant à des points séparés des témoins sableux par une vallée ; pour ces derniers, en effet, les distances mesurées sur les cartes n'ont pas de signification.

De ces comparaisons nous avons éliminé également la détermination effectuée sur l'échantillon provenant de Doue (*). C'est le seul qui ait donné un résultat assez fortement aberrant, ce qui s'explique par sa position à la base d'une contre-pente, un peu au-dessus, mais au voisinage immédiat du thalweg. Cependant, cette circonstance topographique ne nous était pas apparue lors du prélèvement ; c'est dire que la dénivellation est extrêmement faible. En l'absence d'un nivellement suffisamment précis, le cas peut donc paraître douteux ; pour cette raison, et pour nous placer dans les conditions les plus défavorables à notre hypothèse, nous avons tenu compte du prélèvement de Doue, lors du calcul de la probabilité, en le plaçant, non parmi les prélèvements issus de la zone protégée, mais parmi ceux effectués au voisinage immédiat des buttes stampiennes.

Voici les données essentielles de ces calculs :

(*) Prélèvements effectués sur le bord droit du chemin de Doue à Maurois immédiatement après le chemin de la Ferme du Château de Doue.

	Éloignement des sables			Éléments plus grands que 60 μ		
		Écarts : dx			Écarts : dy	
	en km.	—	+	En pour cent de terre fine	—	+
1. Guignes	0	2,4		15,9	4,5	
2. Milly	0	2,4		30,4		10,0
3. Nangis-Nord	0	2,4		32,6		11,6
4. Courmignoust	0,3	2,1		20,6		0,2
5. Nangis-Ouest	0,5	1,9		18,9		1,5
6. Marles	0,7	1,7		33,4		13,0
7. Blandy-Sud	0,9	1,5		44,7		24,3
8. Les Loges	1,2	1,2		9,8	10,6	
9. Châtres	1,5	0,9		10,8	9,6	
10. Pontcarré	2,6		0,2	16,2	4,2	
11. La Chapelle	3,6		1,2	22,4		2,0
12. Blandy-Nord	4,2		1,8	15,5	4,9	
13. Les Friches	5,5		3,1	21,5		1,1
14. Lieusaint	5,6		3,2	4,3	16,1	
15. Cramayel	9,5		7,1	9,6	10,8	
Moyennes	2,4			20,4		

Ce qui nous conduit à r = — 0,49.

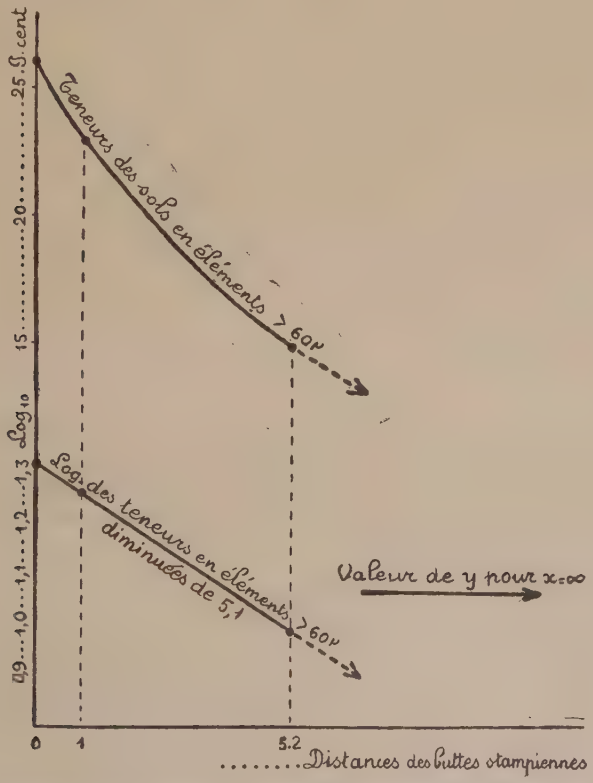

Fig. 8. — **Variations dans la teneur des limons de la Brie en éléments grossiers en fonction de la distance des buttes stampiennes.**

Le taux d'éléments grossiers et la distance variant en sens inverse, le coefficient est négatif. La corrélation apparaît relativement lâche, non pas parce qu'elle n'existe pas (l'influence des sables est largement démontrée par la probabilité calculée précédemment), mais parce que la relation n'est pas linéaire (*). En groupant les observations, on peut voir que les points figuratifs se placent sur une courbe qui correspond à une fonction exponentielle de x ; en effet on a :

Éloignement des sables en km.	Éléments plus grands que 60 μ
0	26,1
0 à 2 (moyenne : 1)	23,0
2 à 10 (moyenne : 5,2)	14,9
∞ zone protégée par les vallées	5,1

et ces points sont tels que si l'on considère les logarithmes vulgaires, on a :

$$\log (y - 5{,}1) = \log (26{,}1 - 5{,}1) - 0{,}064\ x = \log 21 - 0{,}064\ x.$$

En appliquant cette formule, on trouve que lorsque x est égal à 0, 1, 5,2 + ∞, y prend les valeurs 26,1, 23,2, 14,8 et 5,1. Nous ne devons pas oublier cependant que pour des recherches de ce genre, le nombre de prélèvements devrait être nettement supérieur ; s'il en était ainsi, les calculs mettraient peut être en évidence une relation légèrement différente, mais certainement du même genre. D'ailleurs la formule logarithmique conduit à une loi qui régit bien d'autres phénomènes naturels ; elle est équivalente à :

$$y = 26{,}1 - 21\ (1 - e^{-0{,}147\ x})$$

dont la dérivée est :

$$\frac{dy}{dx} = -0{,}147\ (y - 5{,}1)$$

c'est-à-dire que lorsqu'on s'écarte des buttes stampiennes, la diminution dy de la teneur en sable grossier est à chaque moment proportionnelle à la diminution restant encore possible.

B) Variations du taux de colloïdes

Dans le Santerre, le limon sur argile à silex est nettement plus argileux que la terre à briques sur ergeron ; ainsi, pour les horizons superficiels, nous avons :

Terre à briques sur ergeron	8,8	11,8	13,2
Limon sur argile à silex.	14,2	16,6	19,4

De même, au contact de l'argile plastique, les limons sont plus chargés en colloïdes qu'ailleurs.

Il nous paraît difficile de ne pas voir dans l'augmentation du caractère argileux de ces limons, l'influence des argiles sous-jacentes.

Un argument supplémentaire en faveur de l'idée d'une participation directe des roches sous-jacentes ou voisines à la formation des limons, réside dans la variation parallèle que l'on peut observer entre les teneurs en colloïdes argileux des limons et des produits d'altération des roches substratum.

Le substratum du *Vimeu* et celui du *Santerre* sont constitués pareillement par la craie blanche et cependant, comme les limons, les affleurements d'argile à silex et les affleurements calcaires sont moins argileux dans la première région que dans la seconde :

Les sols calcaires correspondent à la craie, divisée par les agents météoriques, altérée par une décalcification partielle, enrichie en humus par l'activité biologique, et les sols d'argile à silex dérivent des précédents par décalcification complète ; il est impossible

(*) Le calcul de l'équation de regression n'offre ici aucun intérêt puisque la fonction n'est pas du premier degré.

de ne pas rechercher la cause des caractères plus ou moins sableux de ces deux types de sols dans une composition différente des craies mères, et nous sommes obligés d'enregis-gistrer l'évolution parallèle des sols de limon.

Le substratum de la partie Nord du *Valois*, comme celui du *Soissonnais*, est constitué par des assises lutétiennes ; or, les limons du Soissonnais sont en moyenne plus argileux que les limons du Valois. Il existe dans ces deux régions des sols calcaires dérivés directement du calcaire grossier et dont la constitution élémentaire, le carbonate de chaux mis à part, s'apparente de près à la constitution des sols des limons. Les sols calcaires comme les sols de limon sont donc plus argileux dans le Soissonnais que dans le Valois. Ces faits rappellent assez étroitement ceux notés pour le Vimeu-Santerre pour qu'il soit inutile d'insister sur la cause vraisemblable de cet état de choses.

En *Beauce*, les sols, qu'il s'agisse de rendzines presque totalement décalcifiées, de sols calcaires ou de sols de limon, apparaissent comme étant les plus argileux de toute la série.

Tout ceci peut se résumer dans le tableau suivant :

	Taux moyen de colloïdes dans l'horizon superficiel		
	Sols de limon	Sols calcaires	Sols sur argiles résiduelles
	—	—	—
Vimeu	9,4	13,7	13,0
Valois	12,3	14,3	—
Brie	13,6	—	14,4
Santerre	14,2	19,7	20,4
Soissonnais	16,1	17,8	—
Beauce	20,7	26,7	25,0

Les données concernant les sols calcaires ou les sols sur argiles résiduelles demanderaient à être précisées par des statistiques plus étendues ; tels quels, les classements obtenus, en considérant les taux de colloïdes, classements à peu près identiques dans les trois cas, nous semblent très démonstratifs au même titre que les observations relatives à la finesse des sables.

CHAPITRE V

DONNÉES STRATIGRAPHIQUES

Les divers niveaux des assises moyenne et supérieure de Ladrière ne se trouvent réunis qu'assez exceptionnellement sur une même verticale et l'on a décrit maintes coupes, plus ou moins théoriques, souvent très incomplètes. Les successions complètes, telles que celles étudiées bien des fois à Ivry, sont rares et ne se rencontrent que sur les terrasses ; sur les plateaux on n'observe le plus souvent qu'un ou deux termes, trois au maximum. Il faut d'ailleurs rappeler qu'en de nombreux points, l'identification des niveaux est rendue difficile par l'absence de points de repère suffisants ; parfois, au contraire, elle est particulièrement aisée, certains limons présentant des caractères qui les rendent reconnaissables à première vue.

A) Successions normales

Nous allons décrire sommairement les principales coupes observées dans les diverses régions naturelles et tout d'abord, à titre d'exemple, les coupes d'Ivry-Villejuif.

1° Les limons d'Ivry-Villejuif.

Entre Ivry et Villejuif, l'assise moyenne de Ladrière repose sur les sables et graviers de la haute-terrasse (terrasse de 30 mètres). La très belle coupe exploitée par la briqueterie de Gournay (Briqueterie Bouchon-Grellet) se situe à l'endroit précis où les deux assises sont étroitement associées ; elle a été étudiée bien des fois par de nombreux géologues et pédologues, en particulier par M^lle^ V. Malycheff, par V. Agafonoff (11) et par J. Franc de Ferrière (96), pour ne parler que des auteurs des descriptions les plus récentes ; elle montre une succession verticale très complète, mais sa position sur une forte pente lui imprime des caractères assez particuliers (variation très rapide de l'épaisseur des différents niveaux, multiplication de cailloutis, etc.).

En 1938, nous avons effectué de nombreux prélèvements répartis dans toute la carrière ; pour une même verticale située vers le milieu du front Sud, nous avons obtenu les résultats analytiques suivants :

Coupe de la Briqueterie Bouchon, à Ivry

	Profondeur du prélèvement	Cailloux et graviers	Pour cent de terre fine				
			CO_3Ca	Colloïdes	Poussières	Sable fin	Sable grossier
	—	—	—	—	—	—	—
1. Tab. . .	4m	0,7	0,4	22,7	19,6	50,9	2,6
2. E. . . .	4m20	0,5	20,8	15,8	16,5	40,8	2,3
3. C1 . . .	5m	54,0	17,5	15,6	19,1	34,3	10,6
4. F1 . . .	6m	1,0	0,7	20,4	15,7	38,2	22,6
5. C2. . . .	6m50	15,7	9,7	20,6	15,9	42,3	9,4
6. F2. . . .	7m	0,6	0,8	29,0	19,8	46,2	1,9
7. Dpn. . .	8m	0,3	0,2	21,4	18,5	54,2	3,3
8. P. . . .	9m	0,1	0,1	18,6	7,5	33,6	40,7

	Éléments < 0 m/m 2 pour cent de terre brute	Pour cent de sables					
		I (0 m/m 02 à 0 m/m 06)	II (0 m/m 06 à 0 m/m 15)	III (0 m/m 15 à 0 m/m 3)	IV (0 m/m 3 à 0 m/m 6)	V (0 m/m 6 à 1 m/m 2)	VI 2 m/m) à (1 m/m 2
1. Tab. . .	96,5	72,6	14,0	9,8	2,6	0,5	0,5
2. E. . . .	96,8	66,4	18,1	11,5	2,8	0,5	0,8
3. C1 . . .	49,7	57,5	16,4	4,6	9,1	6,6	5,8
4. F1 . . .	75,6	27,4	25,2	22,4	13,8	6,9	4,5
5. C2 . . .	78,1	47,3	23,5	16,3	8,5	2,9	1,5
6. F2 . . .	96,9	79,0	12,1	7,9	0,4	0,4	0,2
7. Dpn . .	95,1	77,9	11,0	7,6	2,5	0,3	0,7
8. P. . . .	59,1	20,1	13,2	21,5	35,3	9,5	0,4

Le n° 2 est un ergeron type, il contient 20 pour cent de carbonate de calcium, montre une assez grande finesse, renferme de nombreux tubes argilo-calcaire et des poupées, et s'intercale entre un limon brun (terre à briques n° 1) et un cailloutis (n° 3).

Les n^{os} 4 et 6, situés en dessous de l'ergeron présentent un caractère nettement argileux ; ils ont tous deux l'aspect et la composition de fendillés et sont cependant nettement différents l'un de l'autre ; le n° 4 contient une proportion élevée d'éléments grossiers, indice d'un ruissellement assez intense, tandis que le n° 6 possède une finesse comparable à celle du n° 7, ils sont d'ailleurs séparés par un nouveau cailloutis (n° 5).

La position du n° 7, sa richesse en sable fin et surtout la présence de points noirs, disséminés dans la masse, permettent d'identifier sans aucune hésitation ce limon comme étant le doux à points noirs.

Enfin, la teneur du dernier échantillon en éléments grossiers, le fait qu'il s'intercale entre les alluvions et les doux à points noirs, prouve que le n° 8 est un panaché ; il s'agit presque autant d'un sable que d'un limon.

Ces divers niveaux sont nettement inclinés et leur puissance varie très rapidement ; c'est ce que montrent les cotes relevées par Agafonoff et M^{lle} Malycheff en 1929 (I) et par nous même en 1938 (II) et en 1945 (III).

	I	II	III
Terre à briques.	0 m 30 à 0 m 70	4 m	5 m 50
Ergeron	3 m 00 à 4 m 00	1 m 00	0 m 30
1er cailloutis	0 m 10		
Limon sableux	3 m 00		
2^{e} cailloutis.	0 m 10	0 m 80	0 m 30
Limon sableux	3 m		
3^{e} cailloutis.	0 m 20		
Fendillé	1 m 80	1 m 50	1 m 50
4^{e} cailloutis.	0 m à 0 m 10	0 m 10	
Doux à points noirs	2 m 00	2 m 00	2 m 00
Panaché	2 m 00	—	—
Cailloutis	0 m 15	—	—
Alluvions de la Haute-terrasse .	Visibles	Non visibles.	

L'inclinaison des couches de limon s'explique par l'adossement à la falaise géologique, et aussi par le fait suivant : tout l'ensemble se place dans une vallée sèche peu marquée, mais fortement dissymétrique, perpendiculaire à l'axe de la vallée de la Seine ; l'exploitation recoupe le versant Nord de la vallée sèche et l'un des fronts actuels de la carrière suit exactement le thalweg. Sur les fronts Est et Ouest on voit que la surface du

fendillé et surtout la surface de l'ergeron sont bien plus inclinées que la surface topographique ; la vallée qui s'enfonçait dans l'ergeron a été en partie comblée par une terre à brique colluviale, c'est-à-dire transportée et accumulée à faible distance par les eaux de ruissellement.

Cette position topographique particulière imprime, aux limons d'Ivry, un certain nombre de caractères assez exceptionnels et notamment les suivants :

Epaisseur et hétérogénéité de la terre à briques. — En certains endroits la couche de terre à briques atteint près de 6 mètres d'épaisseur. Cette couche, qui montre une variabilité verticale très marquée (existence à une certaine profondeur d'un horizon humifère nettement plus foncé que les horizons superficiels et profonds, existence d'un horizon légèrement recalcifié), correspond à la superposition de terre à briques colluviale à la terre à briques éluviale résultat normal de l'altération subaérienne de l'ergeron.

Variation d'épaisseur et pente de l'ergeron. — Ce niveau dont la puissance s'élève parfois à plus de 3 m. 50 s'amincit au-dessus de son cailloutis jusqu'à disparaître par places L'amincissement de cette couche résulte de la différence qui existe entre les pentes qui affectent sa surface et son cailloutis de base.

Division et variation d'épaisseur du cailloutis de base de l'ergeron. — Le cailloutis de base de l'ergeron est constitué en réalité par plusieurs lits de petits cailloux et graviers

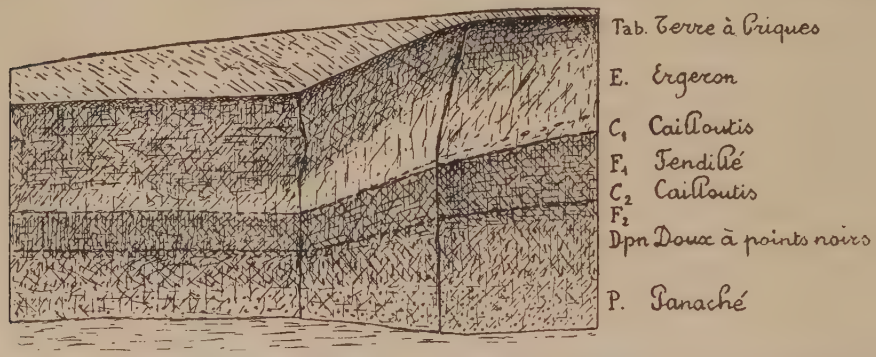

Fig. 9. — **Les limons d'Ivry-Villejuif. — Coupe de la Briqueterie Bouchon-Grellet.**

séparés par des limons sableux plus ou moins calcaires. En certains endroits, 3 cailloutis qui finissent par se confondre en un seul, se succèdent en moins de 80 centimètres ; ailleurs, les limons intercalaires ont une puissance totale de 6 mètres (11).

Position et grosseur des concrétions. — L'ergeron renferme un grand nombre de tubes argilo-calcaires, surtout vers le haut et des poupées volumineuses disséminées dans toute la masse. Ailleurs et notamment sur les terrasses de la Somme, l'ergeron ne renferme pas de poupées plus grosses que des pois ou des noisettes ; les poupées plus volumineuses étant, dans bien des cas, l'une des caractéristiques permettant d'affirmer la présence de limons anciens. Un autre fait exceptionnel est la présence de gros tubes calcaires blancs dans certains niveaux de la terre à briques.

L'assise moyenne est extrêmement localisée ; elle existe seulement à la base de la pente qui s'élève vers le plateau, couronné non loin de là par la butte des Hautes-Bruyères. Tandis que l'assise moyenne disparaît très rapidement dès que l'on se rapproche, si peu que ce soit, du lit actuel du fleuve, l'assise supérieure recouvre le plateau et les terrasses, ainsi que les pentes de raccordement lorsque celles-ci ne sont pas trop inclinées.

A la carrière du cimetière d'Ivry, à quelques centaines de mètres à peine de la carrière précédente, l'ergeron repose sur des alluvions anciennes qui recouvrent le calcaire grossier.

	IVRY (point n° 84)			
	Cailloux et graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
Terre à briques à 1^m00 . . .	0	3,9	23,9	1,5
Ergeron à 1^m50 . . .	4,5	39,5	10,4	1,3
Cailloutis à 1^m75 . . .	32,3	12,1	21,0	13,9
Alluvions à 2^m00 . . .	47,8	0,8	52,2	19,5

Plus haut, sur la butte des Hautes-Bruyères, un limon rougeâtre tantôt argileux (fendillé typique), tantôt sableux, s'intercale entre l'ergeron et le cailloutis de base qui s'étend sur le sable de Fontainebleau.

	VILLEJUIF (point n° 90)			
	Cailloux et graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
Terre à briques à 0^m50 . . .	0,7	2,6	25,5	1,2
Ergeron à 0^m80 . . .	1,4	15,0	16,3	1,1
Fendillé à 3^m00 . . .	0	0,4	24,8	0,7
Cailloutis à 5^m00 . . .	62,0	0,5	8,9	12,6

Un peu plus loin, dans la même carrière, le limon rouge ne contient plus que 15,3 de colloïdes argileux mais il est un peu calcaire (6,3 de CO^3 Ca).

2° Les limons de Picardie.

Commont a étudié de très belles coupes situées sur les terrasses de Saint-Acheul et de Montières ; il les a minutieusement décrites au point de vue stratigraphique, lithologique, paléontologique, aussi bien qu'au point de vue niveaux industriels (64). Nous savons ainsi que tous les types sont représentés autour d'Amiens, mais aujourd'hui les coupes sont, toutes sans exception, en très mauvais état.

A la Sablière Debary cependant, à 70 mètres d'altitude, sur la haute terrasse de Montières, on peut voir encore aujourd'hui, sous l'ergeron qui se termine en biseau, 5 mètres de limons anciens, présentant les caractères suivants :

	AMIENS (point n° 18)			
	Cailloux et graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
Fendillé à 2^m00 . . .	0	0,1	22,7	0,4
Doux à points noirs à 5^m50. . .	3,1	traces	15,4	1,9
Panaché à 6^m00	0	traces	8,1	56,9
Alluvions anciennes	. . . . .			

a) *Santerre.* — Les coupes profondes sont rares sur les plateaux, les planchers d'exploitation des briqueteries étant généralement établis à la surface de l'ergeron ; les coupes existantes furent d'ailleurs peu étudiées parce que réputées sans intérêt du point de vue anthropologique et l'on a toujours admis à la suite de Gosselet (100), que la division supérieure seule recouvrait les plateaux d'un manteau continu, les limons moyens ne se rencontrant guère que dans les vallées.

Cela paraît exact si, comme on a tendance a le faire actuellement, on classe le fendillé dans la division supérieure ; celui-ci en effet, est très fréquent dans tout le Santerre.

Dans cette région, le limon atteint par places et dépasse même parfois dix mètres de puissance ; à Crémery, à 6 kilomètres N. N. E. de Roye, le fendillé recouvre un ergeron ancien dont il semble dériver directement :

CREMÉRY (point n° 43)

	Cailloux et graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
Terre à briques à 2m . . .	0	0,2	17,0	4,0
Ergeron à 4m . . .	0	11,3	11,2	0,8
Fendillé à 5m . . .	0	0,3	24,3	0,7
— à 6m . . .	0	0,1	19,6	1,4
— à 7m . . .	0	0,2	33,9	2,5
— à 8m . . .	0	0,1	35,9	7,7
Ergeron ancien à 9m . . .	4,4	23,8	20,8	5,8
— à 10m . . .	5,6	25,5	23,2	6,5

En ce point, nous n'avons observé aucun cailloutis dans, ou à la base des limons récents (fendillé y compris), mais les conditions de visibilité ne permettaient pas de conclure de façon certaine à leur absence.

L'ergeron ancien, ici comme sur les terrasses de la Somme, où il a été signalé en quelques points par Commont, renferme de grosses poupées à la base, ce qui est l'indice d'une remise en mouvement important de carbonates. Cet ergeron ancien est rare ; dans le Santerre, nous ne connaissons pas d'autres coupes comparables à celle de Crémery et la succession de beaucoup la plus répandue est la suivante :

Terre à briques,
Ergeron,
Fendillé,
Limon à silex,
Craie blanche.

C'est le cas notamment à Villers-Bretonneux, où l'on a par exemple :

VILLERS-BRETONNEUX (point n° 57)

	Cailloux et graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
Terre à briques à 1m	0,4	0,3	22,5	0,4
Ergeron à 2m	1,2	9,9	18,6	1,0
Fendillé à 5m	0,5	0,4	31,6	1,9

Limon à silex à 6m ; puis craie blanche à partir de 8 mètres.

C'est seulement à la base de la terre à briques que l'on observe par places un léger cailloutis, mais ailleurs dans le Santerre, à Rosières par exemple, il n'existe de cailloutis ni dans la terre à briques, ni dans l'ergeron, ni dans le fendillé.

Le limon à silex, dont l'épaisseur est comprise ici entre 1 mètre et 2 m. 50, a été signalé bien des fois par de Mercey sous le nom de *limon biefleux*. De Mercey admettait sa présence à peu près constante à la base du limon des plateaux et lui attribuait un rôle important dans la genèse de ces derniers (162).

b) *Vimeu-Ponthieu.* — Dans le Vimeu et le Ponthieu, les limons ne dépassent généralement pas 3 ou 4 mètres d'épaisseur au maximum ; presque partout un limon non calcaire et peu argileux repose directement sur une argile à silex qui, suivant les localités, peut être épaisse ou rudimentaire. L'association terre à briques sur ergeron ne se rencontre guère que sur la bordure occidentale du Vimeu.

c) *Plateau picard.* — Situé au centre de la Picardie, le Plateau Picard peut être considéré, au point de vue nature de la couverture limoneuse, comme une zone de transition où l'on rencontre, soit la succession caractéristique du Santerre (terre à briques, ergeron, fendillé), soit le dispositif qui caractérise le Vimeu (limon non calcaire sur argile

à silex) ; la dominance de l'un ou de l'autre de ces types est sous la dépendance étroite de l'altitude.

Sur les terrasses autour d'Amiens, nous l'avons dit, les trois assises de Ladrière existent en de nombreux points, l'assise inférieure sur la basse terrasse, l'assise moyenne sur les hautes et moyennes terrasses (*), l'assise supérieure partout. Dans les vallées sèches, on rencontre presque à chaque pas des argilières où l'on observe généralement :

Terre à briques,
Ergeron,
Craie altérée,
Craie blanche.

Souvent aussi, dans ces argilières l'ergeron passe à la base à un limon rouge, plus ou moins fendillé, sans intercalation de cailloutis.

Lorsque l'épaisseur totale du limon diminue l'ergeron finit par disparaître ; ainsi. rue Hémart-Férandier, dans Amiens même, un mètre de terre à briques repose sur la presle avec par places de petites traînées d'argile à silex s'insérant entre les deux formations ; à une centaine de mètres de là, rue Camille-Saint-Saens, l'ergeron apparaît et acquiert rapidement une épaisseur de plusieurs mètres.

Sur les plateaux, dès que l'altitude est suffisante, les limons non calcaires s'appuient sur l'argile à silex. A Fosse-Bleuet, près de Quevauvillers, on a :

QUEVAUVILLERS (point n° 35)

	Cailloux et graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
Limon à 1m50 . . .	0	0,1	21,2	0,6
Bief à 1m75 . . .	60,7	0,2	33,3	6,7
Argile à silex à 2m00 . . .	25,2	0,1	77,7	2,0
Craie blanche à 2m25				

Ces limons sur argile à silex peuvent être beaucoup plus épais et il existe alors deux alternatives : ou bien le taux de colloïdes varie peu, sauf en surface où il diminue par lessivage (Sommereux, point n° 37), ou bien des niveaux sableux s'intercalent dans un ensemble argileux (La Neuville, point n° 31). En ce dernier point, le niveau sableux jaunâtre et massif, rappelle l'ergeron par son aspect. Il tranche sur les autres niveaux, qui en raison de leur teneur en colloïdes, sont bruns, rougeâtres et fendillés.

3° **Les limons du Pays de Caux.**

Il y a déjà plus de cinquante ans, la Briqueterie de Blosseville-Bonsecours avait retenu l'attention de géologues (16) et, depuis, elle a été visitée bien des fois, notamment par Agafonoff et Brioux qui en dont donné une description très complète en 1931 (8) Voici quelques-uns des renseignements communiqués à l'occasion de l'excursion 1939 de la Section du Nord de l'Association Française pour l'Etude du sol; nous y avons joint quelques données supplémentaires concernant les niveaux les plus inférieurs :

BLOSSEVILLE-BONSECOURS (point n° 62)

	Cailloux et graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
Terre à briques à 2m . . .	—	traces	14,5	0,4
Ergeron à 4m . . .	—	14,0	11,0	2,8
Fendillé à 6m . . .	—	1,0	23,0	2,0
— à 8m . . .	4,5	traces	45,3	4,9
à 9m . . .	25,6	0,1	35,9	8,2

(*) D'après V. Commont : hautes terrasses : terrasses de 55 et de 40 m. ; moyenne terrasse : terrasse de 30 m. ; basse terrasse : terrasse de 10 m. (146 bis).

Malgré le caractère peu argileux de la terre à briques et de l'ergeron supérieur, cette carrière rappelle d'assez près celle de Villers-Bretonneux à la limite du Santerre, mais Rouen est en bordure du Pays de Caux et la succession observée à Blosseville-Bonsecours ne donne pas une bonne représentation des limons de cette région.

Ce qui différencie nettement les limons cauchois, limons assez minces au voisinage immédiat de la mer et qui atteignent leur puissance maximum aux environs d'Yvetot et de Doudeville, c'est, en même temps que leur caractère sableux, l'absence de limons calcaires. C. P. Nicolesco ne signale pas d'ergeron à Saint-Romain de Colbosc où sur un front de 10 mètres, se succèdent une couche brune terreuse, une couche jaune sableuse et une couche rouge argileuse (174). Nous n'en avons pas observé non plus ni à Beuzeville, Gainneville, Goderville, ni aux Loges, à Nointot, à Yvetot (points nos 61, 63 à 67) ni à Edreville au Nord immédiat du Havre. En tous ces points, les limons reposent sur l'argile à silex.

4° Les limons de la Brie.

La puissance des limons qui couvrent plus des quatre cinquièmes de la Brie est extrêmement variable ; il ne nous a pas été donné d'observer des épaisseurs de 10 à 12 mètres, moins encore des épaisseurs de 20 mètres dont parlent certains auteurs. Les coupes que nous avons pu examiner en 1942, montraient 5 à 6 mètres de limon à Mortcerf, 4 à 5 mètres à Jouarre, 3 à 4 mètres à Montgoin, à Saints, et à Montauglaust, 1 m. 50 à Morangis, 1 mètre à Châtres, Guignes-Rabutin, Nangis et Villeneuve-Saint-Denis, 80 centimètres à Liverdy, 50 centimètres à Cramayel ; à la Sablière des Hautes-Bruyères, l'épaisseur varie entre 0 et 4 à 5 mètres, à Lieusaint, elle ne dépasse guère 1 m. 50.

A Guignes, à Nangis, à Villeneuve, à Morangis, aux Hautes-Bruyères, le limon repose sur le sable de Fontainebleau ; à Montgoin, Saints, Montauglaust, Liverdy, Cramayel, il recouvre l'argile à Meulière ; à Châtres, à Jouarre, à Mortcerf, enfin, il semble recouvrir l'argile verte.

L'ergeron est rare ; nous ne l'avons observé qu'à Lieusaint, aux Hautes-Bruyères, à Morangis, c'est-à-dire sur la bordure Ouest.

A Lieusaint, au champ d'essai de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace, on a :

	LIEUSAINT (point n° 100)			
	Cailloux et graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
	—	—	—	—
Terre à briques à 1^m10 . . .	0	traces	27,8	1,5
Ergeron à 1^m25 . . .	0	22,9	17,7	2,6
Argile à meulière à 2^m50 . . .	26,8	0,5	51,4	6,5

A la Briquererie de Mortcerf, les limons se révèlent très uniformes à partir d'une certaine profondeur ; on n'observe ni ergeron ni cailloutis :

	MORTCERF (point n° 104)			
	Graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
	—	—	—	—
Limon à 0^m	0,5	2,1	14,0	0,3
— à 1^m	0	traces	16,2	0,3
— à 2^m	0	0,2	18,3	0,6
— à 3^m	0	traces	24,6	0,1
— à 4^m	0	0,1	23,8	0,1
— à 5^m	0,4	0	23,1	0,5
Argile verte à 6^m				

L'appauvrissement de la surface est dû à l'évolution pédologique ; il semble cependant que le sol s'est formé aux dépens d'un limon moins argileux que le limon sous-jacent.

5° **Les limons de la Beauce.**

En Beauce, le limon est peu épais et l'ergeron inconnu ; cependant, les horizons profonds sont généralement un peu calcaires ; c'est le cas à Bonville, au Sud-Est de Chartres :

	BONVILLE (point n° 92)			
	graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
	—	—	—	—
En surface	3,3	1,0	20,5	4,0
à 0^m40 . . .	1,0	0,4	30,5	1,3
à 0^m80 . . .	2,0	5,6	29,3	5,8
à 1^m20 . . .	2,5	5,2	28,6	8,0
	Calcaire de Beauce.			

C'est le cas également à Lion-en-Beauce, où le contact entre le limon et le calcaire sous-jacent décrit des sinuosités qui rappellent le contact argile à silex- craie et où le fond de certaines poches est occupé par de petits amas de graviers de Lozère.

	LION-EN-BEAUCE (point n° 93)			
	graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
	—	—	—	—
Limon en surface. .	2,8	0,1	24,1	6,8
— à 1^m	1,0	0,2	33,3	4,7
— à 2^m	4,5	6,2	40,3	9,0
Graviers de Lozère à 3^m . . .	42,0	0,5	49,5	24,3
Calcaire de Beauce à 4^m . . .	—	84,4	6,4	0,1

Aux environs de Chartres, il n'est pas rare de voir le limon recouvrir l'argile à silex C'est le cas à Bailleau-le-Pin (point n° 91), où des limons très argileux (taux de colloïdes compris entre 20,9 et 36,9) atteignent 5 mètres de puissance sans qu'il soit possible d'identifier des niveaux différenciés.

6° **Divers.**

Nous ne dirons rien de la stratigraphie des limons sur calcaire grossier parce que nous ne connaissons, ni dans le Valois, ni dans le Soissonnais, de coupes descendant plus bas que l'ergeron. Il semble bien cependant qu'il existe souvent en dessous de celui-ci un niveau plus argileux, ce qui nous ramènerait à une succession comparable à celle que nous connaissons dans le Santerre :

Terre à briques,
Ergeron,
Fendillé,
Calcaire grossier.

A *Domont*, au pied de la butte de Montmorency, les limons qui reposent sur des sables blancs (sable de Beauchamp) surmontés par 2 mètres de grès très durs, répondent aux compositions suivantes :

	DOMONT (point n° 82)			
	graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
	—	—	—	—
Terre à briques à 2m	0,2	traces	23,3	0,2
Ergeron à 3m	1,2	10,2	21,4	0,5
Cailloutis	. . . . .			
Fendillé à 5m	2,8	0,9	25,3	0,8
— à 6m	1,7	1,0	24,2	1,1
— à 7m	0,7	0,2	22,9	1,5

Le fendillé, comme l'ergeron, renferme des tubes argilo-calcaires ; la terre à briques et l'ergeron sont plus bien argileux que les dépôts correspondant de Picardie.

A *Trappes*, enfin, le limon repose sur sable de Lozère et sur meulière de Montmorency, voici quelques résultats analytiques concernant cette localité :

	TRAPPES (point n° 95)			
	Cailloux et graviers	Calcaire	Colloïdes	Sable grossier
	—	—	—	—
Terre à briques à 1m00 . . .	1,8	traces	27,6	2,3
Ergeron à 1m50 . . .	0,7	19,8	16,3	0,8
Cailloutis à 2m00 . .	54,6	0	43,3	8,0
Sable de Lozère à 2m50 . . .	32,7	0	25,4	35,9

Sur ce plateau, le limon est peu épais ; il se termine en biseau vers le carrefour de la Revanche et l'ergeron est très inconstant.

B) Aspects particuliers et subdivisions des divers niveaux

Suivant les localités, l'ergeron se présente avec des manières d'être très différentes. Commont a reconnu, dans l'ergeron des vallées, trois zones différentes :

E1 : Ergeron grossier, blanchâtre, calcaire, avec éclats de silex et fragments de craie ;

E2 : Ergeron jaune chamois, doux au toucher, un peu calcareux, formé de particules tenues, sans esquilles de silex, ni fragments angulaires de craie ;

E3 : Ergeron plus grossier, roux, semé de points blancs avec cailloutis de silex éclatés à la base.

Pour les partisans de l'hypothèse éolienne, E2 serait un loess éolien, E1 dérivant de celui-ci par un remaniement provoqué par le ruissellement et E3 dériverait également par ruissellement de limons plus anciens.

De nombreuses briqueteries du Santerre, celles de Villers-Bretonneux en particulier, montrent un ergeron très peu épais passant insensiblement à un dépôt exactement de même apparence, mais qui n'est pas calcaire bien qu'il renferme des poupées volumineuses à la base et de nombreux tubes argilo-calcaire en surface. Le véritable ergeron est parfois si rudimentaire que l'on peut se demander s'il ne résulte pas simplement de l'accumulation des carbonates, à un certain niveau d'une formation primitivement un peu calcaire.

Ainsi, par sa puissance, l'ergeron des vallées, des vallées sèches comme des vallées humides, s'oppose à l'ergeron des plateaux mais, pour ces derniers, il arrive fréquemment que l'on passe de l'un des systèmes à l'autre sans raisons très apparentes.

L'ergeron montre aussi très souvent une zone très calcaire, très proche de la surface ; il le doit à la formation d'un très grand nombre de tubes qui ont fixé les bicarbonates résultant de la décalcification de la terre à briques ; nous sommes en présence d'un horizon d'accumulation du calcaire.

Comme l'ergeron, le limon rougeâtre, situé à la base de ce dernier, se présente, nous

l'avons dit, avec des caractères très différents suivant les lieux de prélèvement ; très argileux ici, sableux un peu plus loin, il est souvent séparé en plusieurs zones par des cailloutis et chacune de ces zones peut reconnaître une origine très différente ; ainsi à Ivry, il semble qu'un fendillé de ruissellement recouvre un fendillé illuvial.

La position topographique peut également communiquer des caractères différents à la formation, par exemple, en multipliant ou en raréfiant les cailloutis ; ces derniers sont généralement épais et nombreux dans les vallées, rares et rudimentaires sur les plateaux.

C) Influence de la topographie sur la répartition des limons

Demangeon a remarqué et c'est très exact, qu'il y a loin de la classification théorique à la disposition naturelle, celle-ci résultant en chaque point de l'association des conditions générales et des conditions locales. Parmi les conditions locales, l'une des plus importantes, sinon la plus importante, est à coup sûr la topographie. Les limons, formations particulièrement meubles, n'ont pu se maintenir en place que lorsque l'inclinaison de la surface n'excédait pas une certaine valeur. Sur les pentes suffisamment prononcées, ou même sur les plateaux étroits où ils étaient attaqués de plusieurs côtés à la fois, ils ont souvent disparu entièrement, entraînés par le ruissellement.

Lorsque la pente était faible, les limons ont pu s'accumuler ou demeurer plaqués au bas de celle-ci et l'on observe souvent pour cette raison des inversions stratigraphiques apparentes : en montant par exemple, les pentes du plateau de Grâce, à l'Ouest immédiat d'Amiens, on rencontre successivement des limons, des terrains à silex et tout en haut la craie.

Lorsque la déclivité est forte, il arrive aussi que les terrains glissent sur les pentes et en recouvrent de plus récents ; ainsi au faubourg de Hem (Amiens), le tief recouvre les limons (64) et il en est de même au Paraclet à 10 kilomètres au Sud-Est.

Pour l'ensemble de la Picardie, la présence ou l'absence de l'ergeron est liée à l'altitude de la manière suivante :

Altitude :	Ergeron :
Inférieure à 90 mètres	Présent
Comprise entre 90 et 110 mètres	Présent ou absent
Supérieure à 110 mètres	Absent.

Il est intéressant de remarquer que c'est aussi, à partir d'une altitude très voisine de 100 mètres, que l'argile à silex commence à acquérir un certain développement.

L'influence de l'altitude sur la présence de l'ergeron peut être due logiquement à l'une des deux causes suivantes, et, en toute vraisemblance, chacune d'elle a dû jouer un rôle :

— Sur les plateaux élevés, l'argile à silex a protégé la craie contre le ruissellement par un recouvrement presque continu ; dès l'origine, les limons formés pouvaient être moins épais et moins calcaires que dans les régions basses ;

— Sur ces mêmes plateaux, l'ergeron qui a pu se former au gré des conditions locales, a été détruit plus facilement qu'ailleurs par l'érosion ou par l'évolution, les précipitations étant d'autant plus intenses que l'altitude est plus élevée ; la lehmification complète a d'ailleurs pu être facilitée par le manque de puissance du sédiment quaternaire.

Sous un climat assez nettement plus humide que celui du Santerre, ou des plaines basses de l'Amiénois, la lehmification a pu arriver à ressouder la terre à briques et le fendillé et il est possible que certaines assises non calcaires, des « hauts pays » doivent leur puissance à ce mécanisme.

Dans nos régions, la disposition des sédiments est souvent différente sur les deux versants d'une même vallée : les flancs Est et Nord sont abrupts et dénudés, tandis que les

flancs Ouest et Sud faiblement inclinés se recouvrent entièrement de limons. Cela s'explique sans aucune difficulté de la manière suivante : Les vents dominants soufflent du secteur Sud-Ouest ; ces vents sont humides et ils tendent à incliner les trajectoires décrites par les gouttes de pluie. Il en résulte que les deux versants reçoivent au centimètre carré des quantités d'eau notablement différentes ; si l'on suppose une vallée présentant de chaque côté du thalweg des pentes inclinées de 10° sur l'horizontale, un calcul élémentaire montre que l'eau reçue par unité de surface passe de 1 sur le versant protégé à 1,22 sur le versant exposé, dès que les trajectoires des gouttes de pluie forment avec la verticale un angle de 10°. Ces valeurs sont très souvent dépassées ; elles sont suffisantes pour porter les hauteurs annuelles par exemple de 650 millimètres à près de 800 en passant d'un versant à l'autre, ce qui montre que les deux versants d'une même vallée sont placés sous des climats très différents.

L'érosion est évidemment beaucoup plus intense du côté où les hauteurs de pluie sont plus élevées et cela d'autant plus qu'à la surface les dépôts du versant Nord, plus directement exposés à l'action des rayons du soleil, se désagrègent plus vite sous l'action des variations de température et résistent moins par la suite, à l'action des eaux de ruissellement.

D'autre part, l'air qui est saturé d'humidité au fond des vallées, se sursature dès qu'il s'élève, les plateaux étant plus froids en raison de leur altitude et aussi parce qu'ils sont moins abrités. En Picardie, l'altitude et l'orientation des plateaux, sont les deux facteurs essentiels de la pluviosité ; la très grande influence de l'altitude sur la hauteur annuelle des condensations, est un fait particulièrement remarquable, dans une région au relief si peu accusé (133). C'est là certainement l'une des causes essentielles de différenciation des limons en fonction de l'altitude.

D) Conclusions

En résumé, les limons, dont la constitution analytique varie beaucoup d'un secteur à l'autre, présentent également des caractères stratigraphiques très différents suivant les régions et suivant les conditions locales.

En Picardie, les limons anciens (division moyenne de Ladrière) sont connus sur les terrasses de la Somme, mais sur les plateaux, la couche limoneuse est formée par les associations terre à briques-ergeron-fendillé et terres à briques-ergeron ou seulement par un niveau non calcaire reposant directement sur l'argile à silex. La dominance de l'une des alternatives sur l'autre est étroitement conditionnée par l'altitude ; le premier type se rencontre dans les régions les plus élevées (Vimeu, Ponthieu, parties les plus hautes du Plateau Picard) et le deuxième dans les zones les plus basses (Santerre et partie centrale du Plateau Picard).

L'ergeron est fréquent dans le Soissonnais, le Valois, autour de Paris ; il est rare ou inconnu à l'intérieur du Pays de Caux, de la Brie ou de la Beauce. Tandis que le limon est épais et sableux dans le Pays de Caux où il repose généralement sur l'argile à silex, il se montre assez épais et moyennement argileux dans la Brie où il recouvre suivant le cas l'argile à meulière, l'argile verte, les sables stampiens et plus rarement les marnes supragypseuses ; dans la Beauce enfin, au contact du calcaire chattien, il est à la fois très peu épais et très argileux, très légèrement calcaire à la base.

La dissymétrie climatologique qui s'établit entre les deux versants d'une même vallée est considérable ; elle est très suffisante pour expliquer la dissymétrie topographique et stratigraphique que l'on observe si fréquemment dans nos régions.

CHAPITRE VI

ORIGINE DES LIMONS

La recherche de l'origine des limons des plateaux et des pentes, particulièrement des loess, a suscité de nombreuses hypothèses et soulevé bien des controverses.

A) Les hypothèses

D'Omalius d'Halloy étendait à ces formations sa théorie de l'émanation ; de Mercey admettait cette théorie pour l'argile à silex, l'argile plastique et le calcaire de Mortemer, mais le limon était pour lui une boue d'origine glaciaire et l'ergeron, identifié au sable gras ou alluvions de rives de Belgrand, un sédiment de débordement des fleuves (164).

L'hypothèse diluvienne, d'après laquelle les limons sont le produit d'inondations gigantesques, recueillit aussi de nombreux suffrages et bien d'autres théories furent proposées ; ainsi la formation des limons a été imputée à des actions fluvio-glaciaires, alluviales, puis au ruissellement ; enfin, à la suite de Richthofen, de nombreux géographes et géologues ont admis que les loess avaient une origine éolienne.

Aux termes de cette théorie, les poussières, transportées par le vent sur de très longues distances, furent précipitées par les pluies à la limite des régions arides et retenues à la surface des steppes par l'abondante végétation de graminées qui recouvrait celles-ci.

Voici en même temps que les principaux arguments invoqués au faveur de l'hypothèse éolienne, les arguments opposés :

— Le loess recouvre indistinctement les terrains les plus divers sans présenter de variations qui soient en relation avec la nature de ces terrains, ce qui interdit de l'envisager comme un produit autochtone de désagrégation et de ruissellement.

Nos analyses montrent, tout au contraire, que la composition des ergerons varie nettement en passant d'une région naturelle à une autre, et même souvent en passant d'un point à un autre d'une même région naturelle.

Aussi au lieu d'admettre que la totalité des éléments du loess a été apportée de loin, il a fallu donner d'autres explications et l'on a proposé celles-ci :

Une partie seulement du loess est allochtone, le reste a une origine locale (11).

Les éléments de certains loess sont bien transportés et mis en place par voie éolienne mais ils n'ont pas une origine lointaine, ils dérivent, par exemple, des alluvions modernes des vallées voisines (159 *bis*), des presles et des produits de solifluxion analogues (88) ou encore des argiles à silex et autres sédiments meubles (175).

— Le loess est fréquemment localisé sur les versants situés à l'abri du vent ou sur des plateaux horizontaux où le transport par l'eau devait être des plus restreint.

La localisation sur les versants abrités est en relation très visible avec le phénomène très général et bien connu de la dissymétrie des vallées ; celle-ci en augmentant considérablement le ruissellement sur le versant exposé, interdit sur celui-ci la formation ou le maintien des limons, roches particulièrement meubles. Ainsi la dissymétrie topographique provoque nécessairement une dissymétrie stratigraphique ; elle est provoquée par la différence qui s'établit entre les hauteurs d'eau reçues par unité de surface de chaque côté de la vallée.

Quant à la présence de limons sur les plateaux où l'inclinaison est très faible, il suffira, pour admettre qu'elle ne démontre pas l'absolue nécessité d'un transport éolien, que le ruissellement n'exige, pour devenir possible, qu'une pente insignifiante et que l'on

rencontre parfois des cailloutis sur des plateaux aussi faiblement inclinés qu'il est possible de l'imaginer, ce qui est une preuve certaine d'un ruissellement intense. C'est en particulier, le cas sur le plateau de Trappes.

— Les loess ne sont pas stratifiés. Or, un très grand nombre de loess du Bassin parisien sont reconnus comme non typiques et entre les cailloutis, ils ne sont pas davantage stratifiés que les loess typiques. On peut en dire autant de certains fendillés reconnus unanimement comme ayant été mis en place par le ruissellement. Les limons, quelle que soit l'origine qu'on leur attribue, ne montrent pas d'autres indices de stratification que des cailloutis ou des lits graveleux. Suivant les conditions de dépôt, ces lits peuvent s'écarter beaucoup ou même disparaître, sans qu'on puisse en déduire des arguments corroborant en quoi que ce soit l'hypothèse éolienne ; cela d'autant plus que les variations dans le nombre de cailloutis et la distance qui les sépare apparaissent comme des données tout à fait locales.

Les migrations dont les limons ont été le théâtre, ont eu nécessairement pour résultat d'atténuer ou de faire disparaître les légères traces de stratification qui pouvaient exister à l'origine.

— Les tubes calcaires, si fréquents dans l'ergeron, ne se sont pas moulés sur les tiges des plantes herbacées qui, dans les steppes, à la limite des zones arides, arrêtaient et retenaient dans l'hypothèse éolienne, les éléments transportés par les vents ; ils correspondent très visiblement à des racines. La forme même de ces petits tubes ramifiés ne laisse aucune place au doute ; à ce sujet, comment expliquer, en admettant la première alternative ou une variante quelconque de celle-ci, l'observation suivante particulièrement facile à vérifier : très généralement, le nombre de tubes augmente beaucoup en se rapprochant de la surface de l'ergeron, surtout lorsque la terre à briques n'est pas trop épaisse. Il s'agit, sans aucun doute, de gaines formées autour des racines de plantes qui se sont développées à la surface de la terre à briques.

Par ailleurs, des tubes comparables se retrouvent dans des milieux qui n'ont rien d'éolien ; nous en connaissons notamment à la base de certains sols calcaires.

— Les loess de la région de Villejuif, notamment ceux de la coupe Bouchon-Grellet, renferment comme le montrent les lames minces établies par Agafonoff et M^lle^ Malycheff, de nombreux foraminifères (*Fissurina et Textularia* notamment) qui ressemblent beaucoup aux foraminifères de la craie. Le fait est hors de discussion et nous l'avons nous-même observé sur nos propres plaques minces. Mais, à supposer qu'il s'agisse bien réellement de foraminifères de la craie, cela ne constitue pas une preuve de l'origine éolienne du sédiment ; les alluvions modernes et mêmes certaines alluvions anciennes des terrasses de la Somme contiennent de nombreux débris crayeux à des états variés de pulvérisation, il en était certainement de même des alluvions anciennes des environs de Villejuif à l'époque de la formation du loess récent. D'ailleurs M^lle^ Malycheff signale la présence dans ce même dépôt de débris de craie et l'on ne saurait admettre qu'ils ont été transportés, en même temps que le calcaire fin, depuis l'auréole du Bassin de Paris jusqu'à son centre.

— Le loess renferme des coquilles terrestres ; cette constatation n'est en aucune façon contraire à l'idée d'un transport par ruissellement et même V. Commont a décrit des formations typiquement fluviatiles qui renferment surtout des coquilles terrestres.

Pour tenir compte du manque de finesse de certains limons loessiques, pour tenir compte des impuretés d'origine locale qu'ils renferment, ces dépôts furent classés en loess typiques, purement éoliens, et en loess non typiques, d'origine mixte. De nombreux auteurs admettent que dans tous les cas, le transport éolien et le ruissellement ont joué chacun leur rôle.

D'après leur mode de formation, G. Dubois répartit tous les limons du Nord de la France en cinq catégories différentes :

— Les limons éluviaux formés sur place par altération du substratum ;

— Les limons de ruissellement transportés par les eaux ;

— Les limons de solifluction transportés à l'état de boue dans des régions soumises à la nivation ;

— Les limons éoliens transportés par les vents dont le type le plus parfait est constitué par les sables des dunes ;

— Les limons loessiques qui reconnaissent une origine mixte.

L'étude précise de certains cas particuliers spécialement en Normandie (17, 18) et en Bretagne (25, 26), a montré qu'il existait de nombreux limons d'origine locale, mis en place par le ruissellement ou par la solifluxion et pour lesquels l'apport éolien était inexistant ou très réduit.

Indépendamment des comparaîsons statistiques, l'observation des caractères analytiques, physiques ou microscopiques des limons peut-il nous permettre de choisir entre les diverses hypothèses en présence ?

Tout d'abord, A. Cailleux a indiqué que le test fourni par l'aspect des grains de sable n'était guère utilisable pour les limons, en raison de la trop grande finesse des poussières loessiques (53).

Dans les limons, les grains du quartz les plus volumineux sont arrondis et les grains fins anguleux, mais ce n'est pas là un caractère spécifique ; nous le retrouvons identique dans d'autres formations, par exemple dans l'argile à silex ou dans les craies.

L'étude physico-chimique de la terre à briques a conduit A. Demolon à formuler entre autres, la conclusion suivante : « Nos recherches sur la texture des limons quaternaires du Nord de la France montrent qu'ils représentent le résultat de la destruction sous l'action des eaux, de sédiments tertiaires parmi lesquels les argiles de décalcification jouent le rôle le plus important. Ces limons présentent la plus complète analogie avec ceux du plateau de Villejuif, généralement rangés dans la catégorie des loess éoliens typiques Si cette hypothèse éolienne ne se heurte à aucune impossibilité physique,il n'en demeure. pas moins que la genèse de ces limons par voie hydrique s'accorde mieux avec leur constitution mécanique et leurs caractères généraux. »

Si les transports en altitude sont possibles et d'ailleurs bien connus (24, 28), les produits précipités au sol sous forme de pluies de boue que l'on a eu l'occasion d'examiner, sont beaucoup plus fins que les éléments dominants des loess. Cette constatation pourrait s'expliquer sans effort par des différences dans la force des vents, mais un autre fait apparaît plus difficile à expliquer : les pluies de boues montrent un triage assez poussé alors que des loess, par exemple l'ergeron de Villejuif, n'ont subi aucune préparation mécanique (24).

Par ailleurs, J. Bourcart a montré que les effets mécaniques des pluies, du gel, du roulage, détruisent les structures acquises par le limon des plateaux et le transforment en véritables boues, stables, rigides et thixotropiques, comme le sont les boues déposées à l'heure actuelle par les rivières (33).

B) Limons éluviaux et limons de ruissellement

Certains niveaux présentent des caractères lithologiques si nets que les géologues sont d'accord au sujet de leur mode de formation, mais il est très loin d'en être toujours ainsi. Nous allons examiner successivement quelques cas typiques :

1° Limons éluviaux.

Ils résultent de l'altération des roches affleurantes par les actions subaériennes, principalement par celle des eaux météoriques chargées d'oxygène et de gaz carbonique ; pour qu'il y ait formation de limon par cette voie, il est de toute nécessité que la roche soumise à ce processus remplisse certaines conditions.

a) *Argiles de décalcification de la craie.* — G. Dubois range l'argile à silex parmi les

limons éluviaux. Pour nous, l'argile à silex n'est pas un limon ; sa teneur en éléments grossiers nous interdit de la classer parmi ces derniers. Mais la décalcification *in-situ* des craies sans silex, laisse comme résidu des produits argileux que l'évolution pédologique amène à ressembler, tout au moins dans la zone superficielle aux limons normaux.

Nous ne connaissons pas de tels limons en Picardie, mais il semble en exister de nombreux exemples en Champagne. Ainsi, à Somsois, une roche mère constituée par une craie délitée, est recouverte par un horizon brun, légèrement jaunâtre, et très calcaire, surmonté lui-même par soixante centimètres d'un limon brun rougeâtre (185). Ce dernier résulte visiblement de la décalcification de l'horizon précédent :

	La Maimaison près SOMSOIS (Marne)	
	Horizon brun rougeâtre	Horizon brun jaunâtre
Cailloux et graviers . . .	traces	5,0
. . . . .		
Calcaire	4,7	42,0
Colloïdes	31,8	16,0
Poussière	17,7	9,6
Sable fin	40,9	30,2
Sable grossier	1,8	1,1

D'après J. Laurent, les plateaux de la Champagne sont recouverts en maints endroits de limons rouges argilo-siliceux, dans lesquels la proportion de calcaire est peu élevée et tous proviennent de la décalcification des roches superficielles. Dans ces conditions, on peut s'attendre à ce que la manière d'être des limons soit différente selon la nature des craies affleurantes et c'est ce qui a lieu effectivement (141).

b) *Autres argiles de décalcification.* — Signalons pour mémoire, que par évolution pédologique, les argiles de décalcification du calcaire grossier et du calcaire de Saint-Ouen, les premières dans le Soissonnais et le Nord du Valois, les secondes dans le Multien et le Sud du Valois, arrivent à ressembler beaucoup aux limons voisins ; cette ressemblance est telle qu'en l'absence de coupes, il est impossible d'identifier avec certitude la roche mère.

La marne de Marquéglise nous fournit un exemple typique de transformation d'une roche argilo-calcaire en limon.

A Muirancourt (point n° 72), le limon rouge qui recouvre la marne est à la fois argileux et grossier malgré sa faible teneur en éléments d'un diamètre supérieur à 0 mm 2. La constitution immédiate et le spectre granulométrique des deux niveaux montrent en même temps que l'identité de leur composante siliceuse leur étroite parenté (*) :

(*) Voir la figure 7, p. 46.

	Sablière de MUIRANCOURT (Oise)	
	Limon rouge à 1 m. 50	Marne de Marquéglise à 2 m.
Pour cent de terre fine :		
Eléments calcaires	0,1	51,0
Eléments argileux	34,5	25,5
Eléments siliceux	63,1	19,8
Pour cent de sables :		
Eléments dont le diamètre est compris entre :		
I. 0 mm 02 et 0 mm 06 . .	41,1	43,3
II. 0 mm 06 et 0 mm 15 . .	38,3	40,7
III. 0 mm 15 et 0 mm 30 . .	18,2	14,8
IV, V et VI. 0 mm 3 et 2 mm. . .	2,4	1,2

La décalcification de la marne de Marquéglise ne peut conduire qu'à un limon identique ou tout au moins très ressemblant au limon rouge qui la recouvre.

c) *Terre à briques.* — De Mercey avait remarqué dès 1874, que le limon calcaire est généralement recouvert par un limon plus brun, entièrement épuisé de calcaire : « Cet épuisement paraît dû à la filtration des eaux pluviales, qui ont dissous le calcaire à la faveur de leur acide carbonique et l'ont entraîné dans le limon inférieur. » Changeant ensuite d'opinion, il admit que la terre à briques dérivait par remaniement glaciaire de l'ergeron ou de toute autre formation ; cette dernière théorie s'apparente à celle de Wood qui fut défendue par A. de Lapparent. Plus tard, Van den Broeck fit triompher la première idée de De Mercey, idée aujourd'hui très classique.

Cependant, on a cru longtemps que la terre à briques était nettement plus argileuse que l'ergeron ou même que l'ergeron ne renfermait, contrairement à la terre à briques, que fort peu d'argile ; nos analyses démontrent que ces croyances sont totalement inexactes.

Lorsque la terre à briques est suffisamment épaisse, la base de celle-ci ne diffère en rien, au calcaire près, de l'ergeron sous-jacent. Pour 16 localités différentes, dont 8 en Picardie (points nos 3, 13, 36, 41, 56, 58, 59, 60) et 8 dans d'autres régions du Bassin de Paris (points nos 62, 76, 77, 80, 82, 85, 89), nous avons obtenu les résultats analytiques suivants :

	Pour cent d'insoluble argilo-siliceux					
	PICARDIE 8 prélèvements		BASSIN DE PARIS 8 prélèvements		ENSEMBLE 16 prélèvements	
	Terre à briques	Ergeron	Terre à briques	Ergeron	Terre à briques	Ergeron
Colloïdes	14,3	13,9	18,2	18,4	16,3	16,2
Poussière	18,6	17,6	19,6	20,2	19,1	18,8
Sable fin	66,1	67,4	60,0	59,9	63,5	63,6
Sable grossier	1,0	1,1	1,2	1,5	1,1	1,3

Il n'y a donc pas néoformation de colloïdes. Les éléments argileux présents dans la terre à briques préexistaient dans l'ergeron : la terre à briques est purement et simplement de l'ergeron décalcifié.

La décalcification s'accompagne de rubéfaction ; celle-ci apparaît comme liée à la floculation réciproque de l'argile et de l'oxyde de fer remis en mouvement. L'adsorption de l'oxyde de fer se traduit par un véritable phénomène de teinture à la surface des éléments siliceux. Une faible quantité de limonite peut ainsi donner une teinte rouge à la masse (74).

Sur les plateaux, la rubéfaction très nette à une certaine profondeur, n'a pas modifié la teinte de la terre à briques jusqu'à son contact avec l'ergeron ; les deux termes de la série supérieure ont alors, de part et d'autre de ce contact, même couleur, même texture et par conséquent même aspect. Dans ce cas, la ligne de séparation est difficile à distinguer d'autant plus qu'une zone de transition partiellement décalcifiée sépare souvent les deux formations.

Les eaux de décalcification, saturées de bicarbonate de chaux, déposent du calcaire dans le loess en perdant du gaz carbonique ; les concrétions résultantes revêtent deux formes différentes et bien connues, celle de tubes plus ou moins ramifiés, celle de « poupées » arrondies, plus ou moins grandes et plus ou moins tuberculeuses.

Visiblement, les tubes se sont formés à la surface des racines en entourant celles-ci d'une sorte de gaine calcaro-silico-argileuse, qui renferme par exemple 65 pour cent de carbonate de calcium et 35 pour cent de sables fins et d'argile. Les poupées se sont formées par le même mécanisme ; elles ont une constitution analogue et présentent à l'intérieur des fentes de retrait extrêmement marquées.

Les tubes et les poupées sont beaucoup plus calcaires que le milieu ambiant ; la précipitation des carbonates à la surface des racines est suffisamment importante pour enrichir très fortement le niveau où elles se forment. Voici, à ce sujet, quelques données relatives à un sol du Paraclet :

	Tubes calcaires $> 2^{m}/_{m}$ (pour cent de terre brute)	Calcaire (pour cent de terre fine)
Terre à briques à $1^{m}20$	0,5	0,3
Ergeron à $1^{m}50$	9,2	23,6
— à $2^{m}00$	1,2	11,5

La décalcification presque absolue de la terre à briques a respecté quelques concrétions qui sont néanmoins appauvries en CO^3 Ca par rapport auxc oncrétions normales ; on doit en conclure que la disparition des carbonates s'effectue très progressivement. A cette lente décalcification, les tubes résistent plus longtemps que le carbonate de calcium très divisé, renfermé par la terre fine.

Les tubes se rencontrent dans l'ergeron, presque à tous les niveaux, mais ils sont généralement bien plus nombreux vers la surface. Par ce mécanisme, il y a formation d'une zone plus calcaire et l'on observe très souvent la succession suivante :

Ergeron décalcifié (terre à briques),
Ergeron concrétionné (riche en carbonates),
Ergeron normal.

d) *Fendillé.* — Le fendillé est souvent assimilé à un produit de ruissellement, mais il se présente parfois comme résultant de la décalcification d'un ergeron ancien ; à Crémery (point n° 43), en plein Santerre, les compositions argilo-siliceuses du fendillé et celle du loess calcareux sous-jacent sont très voisines, malgré une certaine différence dans la finesse des sables, différence qui ne saurait nous étonner. La moyenne donnée pour le fendillé a été obtenue à l'aide de quatre prélèvements effectués à 5, 6, 7 et 8 mètres de profondeur ; l'ergeron ancien a été prélevé à 9 et 10 mètres :

	CRÉMERY (Somme)	
	Fendillé	Ergeron ancien
Pour cent de terre fine :		
CO^3 Ca.	0,2	24,6
Pour cent d'éléments argilo-siliceux :		
Colloïdes	29,2	30,0
Poussière	21,2	17,2
Sable fin	46,5	44,5
Sable grossier	3,1	8,3

L'ergeron ancien contient des poupées volumineuses, ce qui est une preuve supplémentaire de la décalcification du terrain qui repose sur lui.

Mais il existe bien d'autres sortes de fendillés ; en certains endroits on a l'impression que le fendillé résulte de l'évolution pédologique du doux à points noirs ; c'est le cas à Ivry (point 85), où le fendillé F2 intercalé entre le cailloutis situé à la base du fendillé F1, et le doux à points noirs, possède une finesse comparable à celle de ce dernier, finesse bien supérieure à celle du fendillé F1 qui, lui, a été vraisemblablement formé par ruissellement ; l'insuffisance de notre documentation nous interdit d'insister davantage à ce sujet.

2° Limons de ruissellement.

V. Commont qui fut un excellent observateur, a étudié les terrasses de la Somme avec un soin extrême ; les processus de ruissellement apparaissaient pour lui comme le facteur primordial, pour ne pas dire le facteur unique, de la formation des limons, l'évolution subaérienne ayant contribué ensuite à augmenter la diversité des assises pléistocènes. A propos des limons de Saint-Acheul, il s'exprime ainsi :

« Lorsque les alluvions de la Somme furent déposées, des éboulis de craie se détachèrent du haut de la berge (presle) et vinrent recouvrir les sables fluviatiles couronnant les graviers à silex, charriés par le fleuve quaternaire.

« La craie dénudée fut altérée et des poches à dissolution se produisirent dans les quelles furent entraînés du sable tertiaire, de l'argile à silex et des silex de la craie.

« Un premier cycle d'érosion produisit les limons F. E. D., loess ancien. Mais l'ablation des poches ne fut pas complète et, plus tard, le ruissellement entama à la fois argile à silex, sable des poches et la craie déjà décomposée par son séjour à l'air et la dissolution des eaux pluviales. La boue jaunâtre résultant de ce mélange produisit l'ergeron plus ou moins calcaire avec cailloutis de silex. On peut voir à la base de l'ergeron, le cailloutis de base rabotant des poches de la craie à divers degrés d'ablation. La vue de cette coupe dispense de toute explication, car elle est démonstrative par elle-même. » (66).

En bien des points (à Blosseville-Bonsecours, point 62 ; sur les terrasses de Saint-Acheul et de Montières), les auteurs s'accordent à reconnaître dans le *fendillé* un produit de ruissellement résultant du lavage de l'argile à silex ; il est évident que le plus léger déplacement est susceptible, en abandonnant en route les cailloux et les graviers, de transformer l'argile à silex ou les cailloutis en limons. Cela s'est produit bien des fois et, en certaines localités, les fendillés dérivés et les cailloutis qui les traversent, apparaissent en continuité stratigraphique avec l'argile à silex.

Les fendillés attribués au ruissellement, diffèrent des limons éluviaux par une finesse bien moins grande. Nous l'avons remarqué à Ivry où deux fendillés différents se superposent ; nous le remarquons pareillement dans les statistiques qui mettent en évidence deux types dont l'un renferme du sable grossier en quantité notable alors que l'autre n'en renferme pratiquement pas.

Lorsque le ruissellement devenait intense, ou bien encore lors des solifluxions, des cailloutis remplaçaient les limons ; on observe ces derniers à peu près à tous les

niveaux, mais spécialement à la base et à l'intérieur du fendillé, à la base et à l'intérieur de l'ergeron et jusque dans la terre à briques.

Les cailloux et graviers mis à part, les cailloutis possèdent souvent une constitution très semblable à celle de la roche sous-jacente. Ainsi à Villejuif, le cailloutis de base apparaît comme étant surtout du sable de Fontainebleau mélangé avec des éléments plus grossiers (débris de meulière et de silex).

	VILLEJUIF (point no 90)		
	Fendillé	Cailloutis	Sable de Fontainebleau
	—	—	—
Pour cent de terre brute :			
Cailloux et graviers	0	62	0
Pour cent de terre fine :			
Colloïdes	24,8	8,9	5,3
Poussière	16,8	4,2	3,1
Sable fin	54,1	72,6	90,1
Sable grossier	0,7	12,6	4,7
Calcaire	0,4	0,5	0
Pour cent de sables :			
I. 0 mm 02 à 0 mm 06	78,0	4,3	2,8
II., III. 0 mm 06 à 0 mm 30	21,2	84,4	95,2
IV., V., VI.. 0 mm 30 à 2 mm 00	0,8	11,3	4,0

Ailleurs, à la carrière Bouchon-Grellet d'Ivry par exemple, c'est au limon qui le recouvre que le cailloutis ressemble le plus ; c'est le cas du cailloutis qui sépare le fendillé du ruissellement (F1), du fendillé éluvial (F2), aussi bien que du cailloutis de base de l'ergeron.

Les cailloux et graviers des cailloutis proviennent des dépôts géologiques voisins ; à Villejuif, ce sont des éléments des sables de Lozère, des fragments de meulière, des silex du calcaire de Brie. En Picardie, ce sont de petits morceaux de craie et de menus débris de silex.

C) Cas des ergerons picards

En Picardie, il semble inutile d'aller chercher au loin la roche mère, alors que les boues formées aux dépens de la craie sous-jacente ou voisine contiennent tous les éléments nécessaires à la genèse de l'ergeron ; ces derniers renferment de petits morceaux de craie, des fragments de silex et d'inocérames dont l'origine ne fait aucun doute.

Tous les intermédiaires existent entre la craie blanche, massive et en place, et les loess plus ou moins typiques.

Les craies sénoniennes sont normalement débitées en parallélépipèdes irréguliers, volumineux à une certaine profondeur, de plus en plus petits à mesure que l'on approche de la surface supérieure du dépôt. La fissuration, qui pourrait bien être due en grande partie à l'action du gel (54) conduit à un véritable émiettement de la masse crayeuse, émiettement qui précède et accompagne l'altération superficielle et pénètre souvent jusqu'à plusieurs mètres de profondeur (150).

Parfois au lieu d'être alignés régulièrement en strates horizontaux, les blocs de craie se disposent dans tous les sens, les intervalles étant remplis par un ciment calcaire (Estrées-sur-Noye, Jumel, Monchy-Lagache, etc.) ; c'est là visiblement le résultat d'un remaniement par l'eau d'assises primitivement régulières ; la roche a été resédimentée en une sorte de brèche crayeuse. On passe aisément de ces brèches à éléments à peine déplacés à d'autres où le transport par l'eau est bien plus visible ; Coquidé en a observé de telles

sur les flancs de la vallée de la Somme où l'eau a brisé les morceaux de craie en les arrondissant pour les cimenter ensuite à l'aide d'un limon crayeux (68 *bis*).

Les presles sont des boues crayeuses plus ou moins grossières ; elles renferment des graviers constitués par de petits débris de silex couverts d'une patine blanchâtre, par des tests d'Inocérames, par des grains de craie durs, jaunâtres, anguleux et corrodés et par de très petits galets très solubles et bien roulés de craie blanche.

La disparition rapide de ces petits galets, disparition accompagnée logiquement par la diminution du taux de carbonate de calcium et par l'augmentation des divers constituants insolubles, permet de passer aisément des presles aux ergerons grossiers ; la disparition des autres graviers doit conduire tout naturellement à un terme ultime, à l'ergeron type.

Sur certaines coupes, le passage progressif de la craie à l'ergeron est nettement visible ; à Croix-Moligneaux, tous les intermédiaires existent en superposition directe et l'on a la succession suivante :

Ergeron fin,
Ergeron grossier,
Craie meuble et altérée,
Brèche crayeuse,
Craie blanche.

Sans doute, la constitution de la partie non calcaire n'est pas identique dans toute la série, mais les différences constatées n'indiquent pas l'impossibilité de la transformation envisagée, bien au contraire. Voici pour le Plateau Picard, la constitution moyenne des différents termes :

	Sols crayeux	Brèches meubles et presles		Ergerons grossiers	Ergerons fins
Pour cent de terre brute :					
Cailloux et graviers	24,2	25,5	17,3	7,3	0,1
Pour cent de terre fine :					
Calcaire	52,3	64,2	36,2	23,8	13,7
Pour cent d'éléments argilo-siliceux :					
Colloïdes	22,4	20,1	18,1	14,0	12,9
Poussière	24,5	21,8	21,4	21,9	19,5
Sable fin	44,4	52,1	56,1	62,2	67,0
Sable grossier	8,7	6,0	4,4	1,9	0,6

Moins les terrains sont calcaires, moins ils renferment de cailloux et graviers et moins leur fraction argilo-siliceuse contient de sable grossier et de colloïdes. Par contre, toujours rapporté à l'argilo-siliceux, le taux de poussières varie relativement peu tandis que le taux de sable fin croît régulièrement.

Dans les vallées sèches de Picardie, on a souvent l'occasion au moment des violents orages, de voir déferler des eaux boueuses qui contiennent en suspension un produit répondant à la constitution même de nos ergerons.

Le chemin rural qui conduit d'Amiens à Dury s'élève jusqu'au plateau en suivant un certain temps une petite vallée sèche. Les trous destinés à arrêter les eaux sauvages, pour empêcher que celles-ci ne ravinent la chaussée, contiennent une glaise un peu calcaire et très chargée en argile aux endroits où la pente est la plus faible, un sable très grossier dans la partie la plus déclive ; dans les situations intermédiaires enfin, les trous sont colmatés par une vase limoneuse, dont la constitution se rapproche de celle des ergerons picards et notamment de celle de l'ergeron que l'on peut observer dans une « terrière » située tout près de là.

Il s'agit ici d'un ergeron grossier mais plus loin, un parcours plus prolongé, un dépôt

sur des surfaces plus horizontales, aurait vite transformé ce produit en un ergeron beaucoup plus fin qui se rapprocherait bien davantage des loess typiques.

Bien entendu, la glaise, le sable et la vase limoneuse prélevés dans les trous le long des chemins ont quelque chose d'artificiel, puisque les eaux ont ruisselé plus ou moins longtemps sur la chaussée, mais cette circonstance n'enlève pas sa valeur démonstrative à l'analogie constatée.

Les alluvions modernes des grandes vallées picardes ont des constitutions qui rappellent de très près la constitution des limons calcaires ; la ressemblance existe également entre les alluvions de la plaine maritime et les ergerons de Picardie :

	Bas champs de la Plaine Maritime (Composition moyenne)	Ergeron (Composition moyenne pour toute la Picardie)
Cailloux et graviers	0,4	1,7
Pour cent de terre fine :		
Calcaire	25,3	15,2
Colloïdes	10,9	11,2
Poussière	14,6	15,0
Sable fin	42,6	53,5
Sable grossier	1,9	1,0
Pour cent d'éléments argilo-siliceux :		
Colloïdes	15,6	13,7
Poussière	20,9	19,5
Sable fin	60,8	65,6
Sable grossier	2,7	1,2

La différence la plus marquante réside dans le taux de calcaire, celui-ci étant plus élevé dans la Plaine Maritime, ce qui s'explique sans difficulté par la très grande dominance nance des craies sur les formations décalcifiées, en tant que roche-mère des alluvions marines.

Nous connaissons d'ailleurs de nombreux ergerons plus calcaires, dont la composition est à peu près celle qui vient d'être donnée pour les sols de bas-champs.

Cette comparaison prend toute sa signification si l'on songe que les alluvions du Marquenterre résultent de la trituration des éléments arrachés aux falaises voisines et des alluvions amenées dans les estuaires par les fleuves cotiers.

En définitive, à l'intérieur de la Plaine Maritime, le résultat final de la destruction du continent par les eaux fluviales et marines, est un produit ayant une constitution voisine de celle des ergerons picards, un produit qui, s'il était placé dans un milieu oxydant mériterait d'être considéré comme un véritable « ergeron d'origine marine ».

D) Limons des pentes et limons des plateaux

Sur les pentes, qu'il y ait eu transport de limons préexistants ou transport de boues résultant du délavage de formations variées, l'influence du ruissellement a été nécessairement capitale et l'observation directe des faits montre qu'il en a bien été ainsi.

Dans une région calcaire, telle que la Picardie, une succession climatique, marquée par l'apparition d'une période très humide, favorable au ruissellement, intercalée entre deux périodes comparables à l'époque actuelle au point de vue humidité, doit provoquer à elle seule l'apparition de cinq niveaux géologiquement différenciés, se succédant dans l'ordre même où ils se succèdent sur les terrasses de la Somme.

Au début, la terrasse, recouverte de ses alluvions (diluvium gris des anciens auteurs), s'étend au pied de la falaise calcaire.

Durant la première période, les craies se recouvrent de rendzines qui donnent peu à peu des argiles résiduelles, les alluvions se décalcifient et se podzolisent en surface (diluvium rouge).

Au début de la deuxième période, les eaux sauvages attaquent les argiles résiduelles et déposent du fendillé sur la terrasse ; puis, l'érosion continuant son œuvre, la craie réapparaît à la surface ; il y a formation de boues, qui se transforment par ruissellement et se

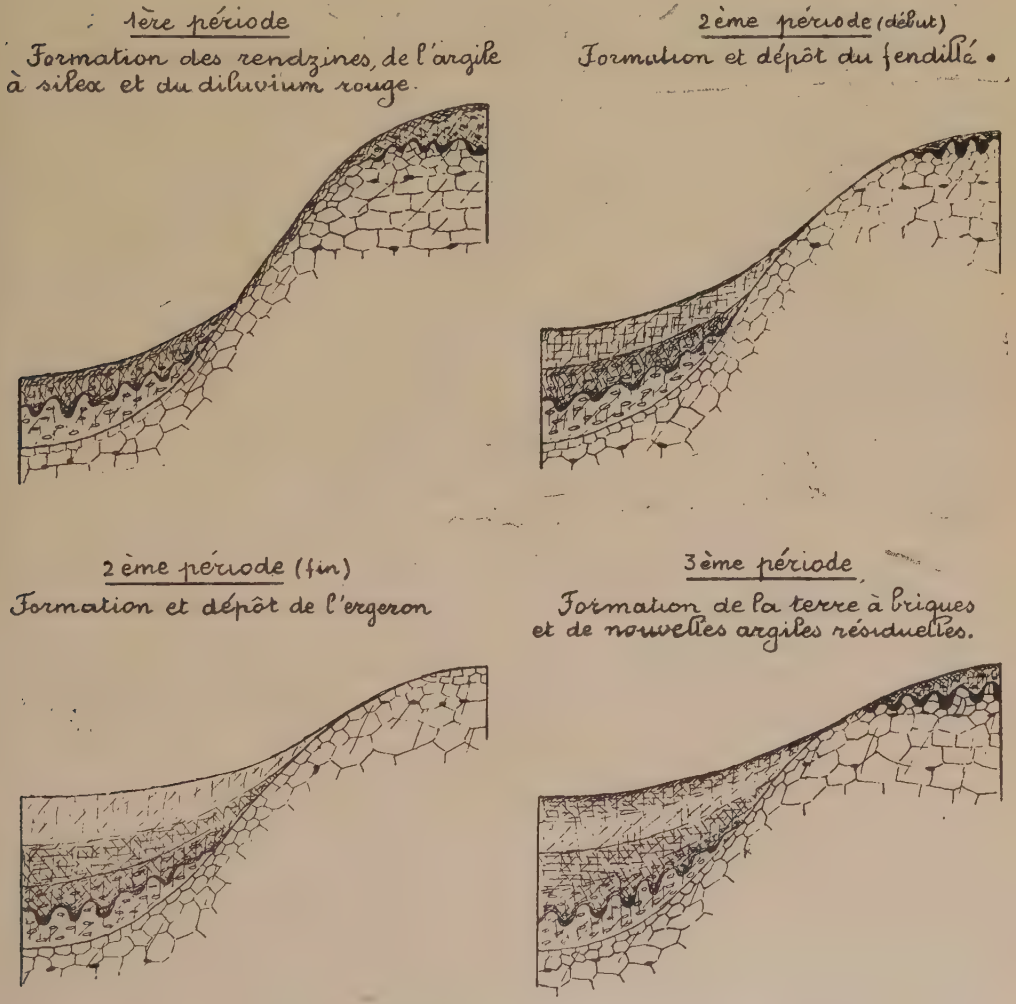

Fig. 10. — **Formation des limons sur les terrasses.**

déposent au-dessus du fendillé, souvent en continuité parfaite avec lui, sous forme d'ergeron plus ou moins grossier.

Pendant la troisième période, l'ergeron se transforme en terre à briques, les craies donnent des rendzines, puis des argiles à silex.

Sur les plateaux, les conditions de transport et de mise en place n'étant plus les mêmes, le problème se présente d'une manière assez différente ; c'est ce que montrent

d'ailleurs la comparaison des caractères pétrographiques et stratigraphiques des limons des plateaux et des limons des versants.

Cependant, sur les plateaux encore, la formation des limons s'est effectuée en plusieurs temps.

Dans une première phase, les roches affleurantes ont été pulvérisées par « l'intempérisme », suivant des processus très comparables aux phénomènes pédologiques actuels.

Puis les produits fins résultant de la pulvérisation subaérienne, furent étalés à la surface des plateaux par les divers agents de transport.

Enfin, l'évolution pédologique a transformé les zones superficielles et communiqué aux limons leurs caractères actuels ; simultanément, la formation à la surface d'autres roches, de limons éluviaux, souvent bien difficiles à distinguer des limons ayant subi un certain transport, a complété le manteau de recouvrement.

Le ruissellement, beaucoup moins actif sur les plateaux que sur les pentes, n'est vraisemblablement pas le seul agent de mise en place et les vents très violents, provoqués par le régime glaciaire, ont certainement du jouer un rôle dans l'étalement des poussières.

Il ne saurait donc être question de nier tout transport éolien, et l'on doit admettre qu'un grand nombre de limons des plateaux sont des limons loessiques, c'est-à-dire des limons mis en place par des processus variés. Mais l'ensemble de nos observations, spécialement celles relatives à la variabilité des limons en fonction des variations de la nature du substratum, s'oppose, d'une manière absolue, à l'application aux limons du Bassin de Paris de la théorie de Richthofen, théorie qui suppose le transport en altitude et à grande distance d'un produit entièrement ou en grande partie allochtone. Il peut y avoir eu un certain remaniement éolien, peut être apport d'une faible proportion d'éléments exogènes, mais certainement pas transport depuis des régions plus ou moins lointaines, de la presque totalité ou même d'une part importante des éléments des limons des plateaux.

Le principal argument contre l'acceptation intégrale de la théorie de Richthofen, réside dans les ressemblances de constitution qui existent entre les limons et la zone altérée du socle géologique.

Mais, tandis qu'il apparaît clairement que dans la Brie, le voisinage des sables stampiens rend les limons plus sableux, la relation qui existe, par exemple, entre les limons de Beauce, à peu près complètement dépourvus de calcaire, et la roche immédiatement sous-jacente, n'a pas la même netteté.

Les faits s'expliquent aisément par la décalcification subaérienne. Sur ce vaste plateau, dont la pente est très faible, on a presque l'impression d'être en présence d'une argile résiduelle, à peine déplacée, impression confirmée par le caractère argileux de la masse, par l'existence de poches emplies de limon à la surface de calcaire chattien, par l'absence de cailloutis de base.

De toute manière, la faible épaisseur du dépôt s'opposait au maintien dans la couche limoneuse d'une zone non décalcifiée. Là comme ailleurs, le limon présente une ressemblance évidente avec la roche-substratum, ou plus exactement avec les sols dérivés de celle-ci.

E) Age des limons

Les limons de l'assise moyenne de Ladrière (loess ancien des auteurs) se sont déposés avant les alluvions des basses terrasses (terrasses de 5 et de 10 mètres), puisqu'ils ne les recouvrent jamais

Au contraire, les limons de l'assise supérieure (loess récent) s'étendent indifféremment sur les basses terrasses, sur les terrasses de 30 et de 45 mètres et sur les plateaux ; ils sont donc postérieurs au dernier interglaciaire (Riss-Wurm).

V. Commont, et plus récemment H. Breuil, ont pensé que la classification donnée par Ladrière (136). demandait à être précisée et complétée. Dans cet ordre d'idées, H. Breuil a montré l'importance du rôle joué par les solifluxions sur les terrasses et a proposé d'attribuer les divers niveaux d'alluvions, de cailloutis et de loess, aux grandes coupures quaternaires admises par l'hypothèse de Penck et Bruckner sur l'existence de quatre glaciations alpines ; voici les éléments essentiels de la classification de Breuil :

	Dépôts fluviatiles	Solifluxions (Gravats soliflués, cailloutis)	Loess	Dépôts d'altération	Industries
	—	—	—	—	—
				H2	
			L3d		
		S4d	—		Paleolithique supérieur.
		—	L3c		
Wurm		S4c	—	(Loess récent).	Levaloisien VII.
		—	L3b		
		S4b	—		Levaloisien VI.
		—	L3a		
		S4a	—		Levaloisien V.
		—	—	H1	Acheuléen VI et VII.
	F3	—	—		Levaloisien III et IV.
Riss	—	—	L2	(Loess ancien)	Acheuléen IV et V.
	—	S3	—		Levaloisien I et II.
	F2	—	—		Acheuléen I, II, et III.
Mindel	—	—	L1		(Loess très ancien).
	—	S2			
	F1	—			
Gunz ?		S1			

En ce qui concerne plus spécialement les limons des terrasses de la Somme, il ressort des travaux de Commont que les limons anciens renferment surtout des coups de poing, des limandes et des instruments lancéoles acheuléens, tandis que dans les limons récents on trouve surtout des silex de facture moustiérienne et aurignacienne ; mais n'oublions pas que les solifluxions ont pu introduire dans certains limons des débris de faune ou des silex taillés plus récents que le dépôt lui-même.

Le cailloutis de base du loess récent (S4a), comme les gravats soliflués de S3, sont caractérisés par la présence de la faune froide à Elephas primigenius, Rhinoceros tichorinus et rennes ; les alluvions de la haute terrasse (F1) renferment la faune chaude à Elephas meridionalis et les alluvions de la basse terrasse (F3) la faune chaude à Elephas antiquus, Rhinoceros Merckii, Hippopotamus major.

Si l'on identifie les quatre cailloutis reconnus à Ivry au dessus du Doux à points noirs, aux cailloutis S4 de la classification de Breuil, il semble que l'on doit considérer comme faisant partie des limons récents, non seulement la terre à briques et l'ergeron, mais encore le fendillé supérieur. La présence signalée dans certains fendillés de la faune froide à Elephas primigenius et à Rhinoceros tichorhinus, le fait que l'on observe le limon rouge dans quelques poches de la basse terrasse de la Somme, l'absence très fréquente de cailloutis entre l'ergeron et le fendillé, sont autant d'arguments en faveur de cette manière de voir ; par ailleurs, par sa constitution comme par son aspect, le fendillé que nous avons observé à Crémery rappelle le sol enterré d'Achenheim (moyenne terrasse des environs de Strasbourg) décrit par Franc de Ferrière sous le nom de « Grand Lehm », et attribué par cet auteur à la première récession wurmienne.

Mais à Ivry, il existe, en dessous du quatrième cailloutis, un deuxième fendillé qui semble être un faciès d'altération du Doux à points noirs sous-jacent et qui constituerait dans cette hypothèse, le dernier terme de la série des limons anciens.

Dans ces conditions, les limons de la haute terrasse observés à Ivry ou près d'Amiens se répartiraient ainsi :

Limons récents	Terre à briques, Ergeron, Cailloutis, Fendillé 1, Cailloutis.
Limons anciens	Fendillé 2. Doux à points noirs, Panaché.

En fait, quand on recherche l'âge des limons, il ne faut pas oublier que la genèse de cette formation comporte plusieurs phases ; on doit faire la distinction entre l'époque durant laquelle s'est effectuée la préparation des éléments fins et l'époque de la mise en place.

Les données paléontologiques prouvent que le climat qui régnait au moment de la mise en place de nombreux limons des plateaux était un climat steppique. Or, il semble certain qu'entre la période glaciaire dont le climat était à la fois froid et humide, et la période post-glaciaire, se place une période de transition durant laquelle le climat était déjà chaud et sec alors que le régime anticyclonique, établi sur les calottes glaciaires, continuait à agir.

C'est surtout durant cette période, marquée par des vents extrêmement violents, que les poussières desséchées auraient été étalées à la surface des plateaux. Si l'on admet cette hypothèse, de nombreux limons loessiques seraient pour une part post-glaciaires.

Quand il s'est agi de fixer la date de l'altération qui a transformé l'ergeron (loess récent) en terre à briques, l'accord ne s'est pas complètement réalisé entre les auteurs ; certains attribuent cette transformation au Flandrien, d'autres à la fin du Wurmien. Cependant il en est de cette évolution comme de toute altération superficielle : elle se poursuit encore actuellement ; dans ces conditions, on pourrait tout au plus rechercher la date du début du phénomène.

Il faut rappeler ici qu'une classification chronologique des limons ne saurait être rigoureuse, puisqu'il a été reconnu que des limons de tous les types ont pu se former à toutes les époques du quaternaire, ce qui entraîne parfois une absence relative de parallélisme entre le faciès lithologique d'un limon et son âge géologique vrai (8?).

Enfin, dans un très grand nombre de cas, tout au moins dans l'état actuel de nos connaissances, nous manquons complètement de bases pour établir l'âge des assises limoneuses, cela tout spécialement à la surface des plateaux où les découvertes paléontologiques et archéologiques sont très rares.

CHAPITRE VII

LES SOLS DE LIMONS
ET LEURS PRINCIPALES PROPRIÉTÉS AGRONOMIQUES

Aux endroits où ils affleurent, les limons, comme d'ailleurs toutes les autres formations géologiques, s'altèrent sous l'influence conjuguée des facteurs physiques, chimiques et biologiques. La partie tout à fait superficielle constitue le sol végétal ou le sol arable, mais le sol au sens pédologique du terme, comprend la totalité de la zone transformée ; il s'étend donc depuis la surface topographique jusqu'à la roche non transformée.

Avant d'étudier les sols de limon, il est indispensable de rappeler et de préciser quelques notions concernant l'évolution pédologique en général ; nous verrons ensuite comment les règles dégagées par cette discussion s'appliquent au cas particulier des limons.

A) Généralités sur l'évolution pédologique

De nombreux facteurs, au premier rang desquels se placent les pluies, les variations de température et l'activité de la végétation interviennent dans la formation des sols, mais en fait, dans la majeure partie de la France, dans la France septentrionale en particulier, l'infiltration des eaux météoriques apparaît comme la cause principale de la lente transformation des zones superficielles.

1° Action des eaux d'infiltration.

L'évolution comporte un certain nombre de stades qui se succèdent dans le temps ou sont, au contraire, plus ou moins simultanés.

a) *Décalcification et acidification.* — La disparition du calcaire, dissous par l'eau chargée de gaz carbonique et entraîné en profondeur sous forme de bicarbonate, est suivie par la disparition de la chaux et des autres bases adsorbées par les colloïdes, et cette disparition s'accompagne de l'acidification progressive du milieu. Mais, à vrai dire et pour des raisons multiples, l'acidification, ni même la décalcification, ne sont des conditions préalables obligatoires à toute évolution.

b) *Oxydations.* — En présence d'une quantité suffisante d'oxygène, les matières organiques du sol se détruisent lentement, à la fois par simple oxydation chimique et par l'oxydation biologique, conséquence de l'activité microbienne. Cette combustion dépend avant tout de trois facteurs, l'aération, l'humidité et la température ; elle est la source principale de l'anhydride carbonique qui joue un rôle particulièrement important dans la décomposition des roches et plus tard dans l'évolution du sol. Le fer, libéré des composés insolubles par les corps à fonction acide, donne en solution diluée de l'hydrate ferrique colloïdal ; la glauconie subit aisément cette transformation en donnant des produits teintés d'un rouge très vif. Le sulfure de fer s'oxyde pour donner du sulfate et cela même en milieu calcaire ; le sulfate instable se scinde en limonite et en acide sulfurique et il n'est pas rare de voir dans la craie des nodules de marcassite transformés presque intégralement en limonite.

c) *Migrations.* — Lorsque le calcaire a disparu, parfois même avant, les bases échangeables, c'est-à-dire les bases fixées par le complexe absorbant, sont lessivées, la chaux en premier lieu, ensuite la potasse, la soude, la magnésie ; puis, nous l'avons montré, l'acide phosphorique subit le même sort.

L'état du complexe formé par l'association des colloïdes argileux, ferrugineux et humiques, dépend à la fois de la nature et des proportions de ses constituants, de la nature

et des proportions des cations et anions présents ; certains cations, le calcium principalement, le maintiennent énergiquement floculé.

La disparition des bases échangeables provoque, en même temps que la séparation des constituants du complexe, leur passage à l'état dispersé ; ces derniers sont alors aisément entraînés par les eaux de percolation, la vitesse du lessivage étant fonction de la composition de la roche, de sa perméabilité, de la pluviosité et du relief.

d) *Accumulation.* — Les eaux provenant de la surface trouvent toujours à exercer leur action et ainsi se forment des solutions saturées qui abandonnent facilement une partie des principes qu'elles ont dissous.

Des causes multiples et variables (évaporation superficielle, pompage par les racines, précipitation chimique ou floculation due à la rencontre des solutions descendantes et ascendantes (95), précipitation à la surface d'une couche calcaire ou arrêt par un niveau sableux), provoquent la concentration à certains niveaux des substances dissoutes ou en suspension.

Cette concentration détermine souvent la formation de concrétions ; le calcaire se concrète de cette manière dans le loess sous forme de poupées et de tubes argilo-calcaires ; les petites concrétions que l'on rencontre fréquemment dans nos terrains non calcaires sont formées de grains de sable agglutinés par de l'hydrate ferrique et très enrichies en manganèse et en acide phosphorique.

Les silex, les galets siliceux, les fossiles, s'imprègnent des substances présentes dans les solutions qui circulent autour d'eux. Dans les niveaux d'accumulation, les solutions sont colorées et les patines acquièrent une couleur en rapport avec celle du milieu géologique. Presque noirs dans l'argile à silex, jaunâtres, rougeâtres ou brunâtres dans le bief à silex, nettement rouges dans les zones ferrugineuses, verts dans les sables et les argiles glauconieux, les silex sont au point de vue de la couleur, le reflet du terrain qui les contient.

e) *Résultante.* — Ces divers processus provoquent l'apparition dans la couche géologique superficielle, d'*horizons* plus ou moins différenciés dont l'ensemble constitue un *profil.*

Les profils complets présentent d'abord un ou plusieurs horizons lessivés appelés aussi horizons appauvris ou éluviaux ou encore horizon A, puis un ou plusieurs horizons d'accumulation, horizons enrichis, de concentration, illuviaux, ou encore horizons B.

Enfin, en dessous de la zone B se trouve le sédiment non transformé : c'est *la roche mère ou horizon C* (*).

Lorsque les déplacements de substances sont importants, les horizons présentent des aspects très différents. L'oxyde de fer hydraté colore en rouge brun les horizons d'accumulation auquel la richesse en colloïdes communique une structure polyédrique : le sédiment se sépare en petites masses anguleuses et dures. Par contraste, l'horizon éluvial apparaît plus ou moins décoloré et sa structure par perte d'argile tend à devenir schisteuse ou feuilletée.

Mais les horizons sont souvent moins différenciés et parfois même l'analyse est seule capable de révéler les variations successives de composition.

f) *En résumé*, la descente des eaux pluviales, chargées d'oxygène et de gaz carbonique, entraîne toute une série de conséquences : décalcification, désaturation des colloïdes et acidification du milieu, séparation des colloïdes unis dans le complexe, migration de tous les éléments autres que les éléments siliceux et les silicates grossiers (colloïdes argileux, ferrugineux et humiques, bases échangeables, manganèse acide phosphorique) et, enfin, accumulation de ces différentes substances à une certaine profondeur, variable avec les conditions de milieu et la durée du lessivage. Ainsi apparaissent des profils constitués par un nombre variable d'horizons.

(*) Souvent la roche mère est transformée dans toute sa hauteur ; l'horizon de concentration repose alors sur le niveau géologique suivant.

Il arrive que le sol intéresse plusieurs zones géologiques lorsque celles-ci sont peu épaisses ; nous avons observé de tels sols, qui doivent être qualifiés de sols complexes, notamment à Saint-Quentin-en-Tourmont. Parfois, la constitution de la roche mère variait avec la profondeur avant toute évolution. L'interprétation de cas de ce genre est toujours difficile et on a pu confondre, comme cela a été signalé pour la Finlande, la podzolisation réelle et une podzolisation apparente (196).

Dans le même ordre d'idée, B. Brajnikov a montré par la détermination des minéraux lourds que des profils qui, à première vue, semblaient s'être constitués sur une roche mère homogène, pouvaient intéresser plusieurs zones lithologiques différant par leur constitution minéralogique (39 *bis*).

2° **Action des eaux de ruissellement.**

Sur les pentes, une partie plus ou moins considérable des eaux météoriques ruissellent à la surface du sol, érodant celle-ci ; l'érosion augmente avec la quantité d'eau, la durée du ruissellement, la pente, le manque de cohésion des sédiments.

L'érosion entrave l'évolution puisque celle-ci exige, pour laisser des traces visibles, l'immobilité prolongée de toute l'épaisseur intéressée par les migrations. D'autre part, l'intensité de l'érosion en un point donné varie avec le temps, puisque l'érosion modifie peu à peu les conditions topographiques et ainsi des profils, qui ont eu le temps de se former lorsque l'érosion agissait peu, peuvent être tronqués par la suite. Ce processus détermine l'affleurement des divers horizons de chaque couche géologique.

Enfin, l'érosion et le glissement sur les pentes, en déplaçant tout ou partie des couches superficielles, en mélangeant celles-ci, provoquent la formation de sols complexes, sols qui sont plus fréquents qu'on ne le pense généralement, lorsque l'inclinaison du sol dépasse une certaine valeur.

3° **Actions diverses.**

Les gelées, les simples variations de température, les dessications et absorptions d'eau, désagrègent physiquement les sédiments par les contractions et dilatations successives qu'elles leur font subir. Cette désagrégation rend les terrains beaucoup moins résistants à l'action des eaux météoriques.

Tant que l'humidité demeure suffisante, la chaleur, la lumière et l'aération activent l'évolution en accélérant les réactions chimiques et biologiques. Ces facteurs agissent notamment sur la destruction de la matière organique par voie microbienne.

Les bactéries jouent dans les transformations sédimentaires un rôle considérable ; ainsi les organismes nitrifiants participent très activement à la désagrégation des roches. Il en est de même des lichens, des mousses, des vers de terre, des insectes, des taupes, etc.

Les racines des végétaux supérieurs désagrègent mécaniquement et chimiquement les roches et remontent vers la surface l'eau et les substances minérales.

Enfin, la végétation abandonne des résidus, qui se transforment ultérieurement en humus et celui-ci est un facteur important de la transformation et de l'évolution des sédiments.

4° **Formation de l'horizon superficiel ; Notation personnelle.**

Très rapidement, sous l'action des pluies, des variations de température et de la végétation, la zone superficielle se modifie en donnant une couche meuble nettement plus foncée que le sous-sol.

L'activité biologique enrichit celle-ci en matières organiques surtout par accumulation des déchets abandonnés par la végétation. Les matières organiques totales augmentent et en même temps qu'elles, l'humus colloïdal, l'azote et l'acide phosphorique.

Le sol végétal résultant est toujours peu épais et le travail de l'homme, en transformant ce sol naturel en sol arable, l'approfondit dans tous les cas où cela est possible.

Le lessivage vertical et des phénomènes essentiellement distincts et beaucoup plus rapides,

juxtaposent leur action pour donner à l'horizon superficiel sa constitution et ses propriétés.

La rapidité avec laquelle se différencie l'horizon superficiel reconnaît des causes multiples :

— L'activité des facteurs physiques, chimiques et biologiques est maxima à ce niveau ;

— L'horizon superficiel est presque toujours beaucoup plus perméable que le sous-sol

— Il est soumis à un lavage tangentiel qui peut être dans certains cas, beaucoup plus intense que le lessivage vertical.

La notation doit tenir compte de la dualité qui existe entre le lessivage vertical, phénomène lent qui est à l'origine de la formation des profils et l'altération très rapide et très superficielle qui détermine, partout et en très peu de temps, la formation d'un premier horizon meuble et humifère (terre végétale ou terre arable suivant le cas).

D'autre part, l'horizon superficiel n'est pas nécessairement un horizon lessivé ; l'érosion fait affleurer très souvent l'horizon d'accumulation ou même la roche mère et c'est pourquoi nous désignons par A', B', C', l'horizon superficiel formé aux dépens d'horizons A, B ou C (125).

5° **Principales conséquences agronomiques de l'évolution.**

Au cours de l'évolution pédologique, les taux de tous les éléments autres que les éléments siliceux grossiers (cailloux, graviers et sables) varient avec le temps ; c'est dire que toutes les conditions physiques et chimiques évoluent. Il en va nécessairement de même des conditions biologiques.

Par suite, la fertilité est en relation directe, non seulement avec la nature de la roche mère, mais encore avec l'état d'évolution. Les roches mères sont impropres à la culture et les sols squelettiques très faiblement productifs. Le milieu ne devient véritablement fertile qu'au moment où le complexe argilo-humique peut jouer librement son rôle ; la fertilité décroît ensuite à mesure que le sol s'appauvrit en calcaire, en colloïdes et en éléments fertilisants.

La disparition du calcaire et la désaturation des colloïdes tend à rendre le milieu acide. Or, « toutes les réactions diastasiques, tous les développements microbiens, c'est-à-dire tous les phénomènes vitaux, sont sous la dépendance très stricte de la concentration du milieu en ions H ».

Les répercussions sur la flore spontanée sont particulièrement nettes car il existe pour chaque plante une zone de pH généralement assez large, permettant à celle-ci de se développer et surtout un pH optimum, très variable d'une espèce à l'autre ; pour cette raison l'examen de la flore spontanée permet de connaître la réaction du sol parfois avec une assez grande précision (90).

La variation du taux de colloïdes argileux et humiques réagit directement sur la végétation et, comme le remarque A. Grégoire, l'action des colloïdes du sol se fait sentir souvent d'une façon tout à fait prépondérante sur tous les facteurs qui interviennent dans le développement de la plante (102).

Du taux d'argile dépendent en premier lieu toutes les propriétés physiques et mécaniques du sol et notamment le maintien d'un état grumeleux, éminemment favorable à la végétation.

En l'absence de calcaire, l'argile défloculée obstrue les espaces libres entre les grains de sable et rend le sol imperméable et asphyxiant. Le « glaçage des limons » correspond précisément à la destruction des agrégats par les pluies violentes, cette destruction étant provoquée par la migration d'un complexe argilo-humique insuffisamment pourvu en cations floculants (79).

Le lessivage, en diminuant le taux d'argile dans l'horizon superficiel, diminue la fertilité ; dans ce cas, la formation subséquente d'un horizon d'accumulation argileux et peu perméable arrive parfois à entraver le développement normal des racines.

Inversement, par le jeu combiné de l'évolution et de l'érosion, se forment des sols plus argileux que la roche mère dont ils sont issus et la fertilité est augmentée d'autant.

L'influence bien connue des matières organiques sur l'état des sols, s'explique par l'amélioration de la structure, par l'augmentation de la stabilité ; une augmentation, même très légère, de la teneur du sol en acides humiques suffit pour maintenir les ciments argileux à l'état floculé.

L'évolution pédologique provoque aussi l'appauvrissement de la surface en éléments fertilisants. Cet appauvrissement joue spécialement sur les bases échangeables c'est-à-dire sur une fraction particulièrement assimilable ; elle joue également sur la fraction de l'acide phosphorique qui est fixée par les colloïdes (117), mais il ne faut pas s'exagérer les dangers représentés par ces migrations car la vitesse du lessivage est extrêmement faible.

Les végétaux, pour se développer normalement, exigent à la fois des éléments plastiques et des éléments catalytiques. C'est dire que l'on doit se préoccuper en même temps que de l'azote, de l'acide phosphorique et de la potasse, des éléments oligosynergiques, c'est-à-dire des éléments secondaires de la fertilisation (109) ; le lessivage prolongé du sol provoque la disparition graduelle de ces éléments, si bien que les sols très évolués sont plus sujets que les autres aux maladies de carence, telles par exemple que la maladie du cœur de la betterave.

Des associations végétales déterminées, ou si l'on veut des « climax » différents, correspondent, sous un climat donné, à chaque type pédologique. De même les notions de cru, d'appellation d'origine et plus généralement de vocation culturale, sont rapprochées de plus en plus de la notion de stade génétique. En fait, ces diverses données dépendent pour beaucoup de la constitution chimique et mécanique du sol (principalement de la richesse en carbonate de chaux et en colloïdes) ; elles dépendent donc à la fois de la nature géologique de la roche mère et du stade pédologique. A chaque type géopédologique correspond un type agronomique bien déterminé : c'est là un fait particulièrement net en Picardie.

B) Evolution des limons

Tandis que les limons calcaires sont fort peu évolués, les limons décalcifiés ou originellement non calcaires, donnent partout des *sols bruns écolués*, c'est-à-dire des sols intermédiaires, qui se classent entre le type podzolique, caractérisé par la décoloration presque complète de l'horizon A, et le type des sols bruns où le lessivage est pratiquement nul.

1° Limons calcaires.

L'ergeron est assez peu perméable ; lorsqu'il affleure, ce qui ne se produit que sur des surfaces très restreintes, c'est toujours en des lieux où l'érosion est très active ; d'autre part, les migrations sont bien moins rapides dans les milieux calcaires que dans les milieux argilo-siliceux. Pour ces trois raisons, les sols sur ergeron ne diffèrent souvent du sous-sol que par leur enrichissement en matières humiques :

DOMMARTIN (point no 26)

Profondeur	Calcaire	Colloïdes	Azote
0 à 10	10,3	15,9	0,17
20	11,5	14,9	0,08
35	13,6	13,7	0,06

Mais souvent aussi, on peut noter la disparition de l'horizon superficiel d'une bonne partie du calcaire ; ce commencement de décalcification correspond à une première étape de formation de la terre à briques.

2° Limons non calcaires.

Si l'on considère la classification adoptée pour la cartographie des sols de France (179), on voit que la plupart des sols de limon rentrent dans la catégorie N1, où le lessivage est directement visible sur le profil, par l'opposition de couleur et de structure qui existe entre les horizons A et B. Quelques-uns appartiennent au groupe N2 où le lessivage n'est décelé que par l'analyse.

a) *Terre à briques.* — Sauf dans le cas de formations colluviales, la puissance de la terre à briques ne dépasse jamais 3 mètres ; dès qu'elle atteint 2 mètres les profils sont complets et l'on a :

		Horizons	Épaisseur (en %m)	Couleur	Structure
Lessivés	Sol	A'	20 à 30	Brun jaune clair.	Schisteuse.
	Sous-sol	A	20 à 80	Gris jaune clair.	
Enrichi		B	60 à 80	Brun rougeâtre.	Polyédrique.
Roche mère pédologique (Terre à briques non évoluée).		C	20 à 100	Jaunâtre.	Massive.

Voici un exemple donnant les principales caractéristiques d'un profil de ce genre :

	VILLERS-CARBONNEL (point no 59)			
	Horizons lessivés		Horizon enrichi	Roche mère
	A'	A	B	C
Profondeur du prélèvement (centimètres) . . .	10	25	110	200
Calcaire	0,17	0,17	0,04	0,04
Colloïdes argileux . . .	10,7	13,5	25,1	13,7
Azote	0,10	0,07	0,04	0,04
Oxyde de fer libre (*) .	1,4	1,9	3,0	2,6
Eléments solubles aux acides concentrés bouillants :				
Potasse	0,23	0,28	0,39	0,26
Acide phosphorique . .	0,10	0,08	0,12	0,10
Rapports moléculaires dans les fractions colloïdales :				
$SiO^2 / Al^2 O^3$	3,6		3,5	3,3
$SiO^2 / Al^2 O^3 + Fe^2 O^3$.	2,5		2,5	2,3

Le taux de colloïdes et pareillement le taux d'oxyde de fer libre et de potasse soluble dans l'acide nitrique bouillant, doublent en passant de l'horizon A' à l'horizon B ; l'azote témoin de la richesse en matières organiques, augmente beaucoup en surface ; l'acide phosphorique augmente à la fois en surface et dans l'horizon d'accumulation. Enfin, les rapports moléculaires dans les colloïdes varient relativement peu, ce qui montre que le complexe est constitué sensiblement de la même manière dans les divers horizons ; cela est contraire aux résultats notés par G. W. Robinson pour les sols podzoliques.

Ce type est particulièrement fréquent dans le Santerre ; nous en connaissons d'analogues sur la bordure Ouest du Vimeu, d'autres dans le Soissonnais et dans le Valois et Jouis a donné des analyses se rapportant à des profils du même genre relevés dans le Pays de Caux (134).

Pour dix-sept profils complets de terre à briques, nous avons obtenu les taux moyens de colloïdes suivants :

(*) Déterminé par la méthode Demolon (74).

Horizons	Colloïdes
A	13,8
B	24,2
C	16,2

Lorsque la roche mère était peu épaisse, elle a été modifiée sur toute sa hauteur et l'horizon de concentration repose directement sur l'ergeron ; ce fait a été observé notamment à Lieusaint, à Versailles (Centre National de Recherches Agronomiques), en Alsace ; il demeure relativement rare en Picardie.

L'érosion fait apparaître successivement les divers horizons à la surface et ainsi prennent naissances des profils tronqués qui sont extrêmement fréquents dans nos régions.

Le type de sol, bien connu des agronomes et des praticiens sous le nom de *limon*

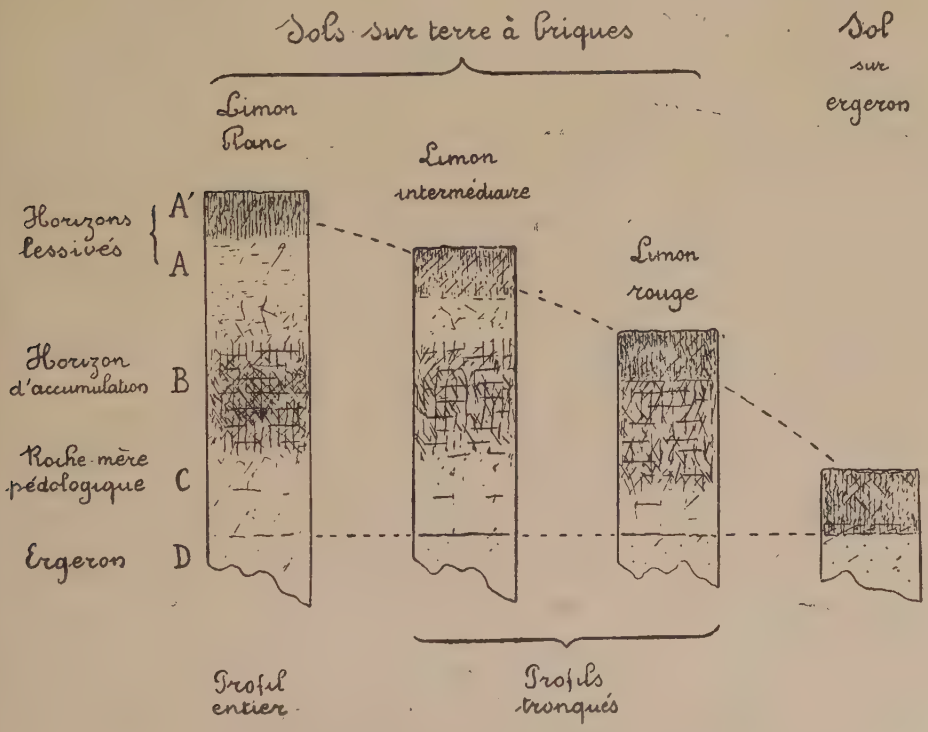

Fig. 11. — **Les sols sur terre à briques et sur ergeron.**

blanc, correspond à l'affleurement de l'horizon lessivé d'un profil complet. Dès que la surface n'est plus parfaitement horizontale, les horizons éluviaux sont entraînés, avec d'autant plus de facilité qu'ils manquent de cohésion ; ils s'amincissent de plus en plus et l'érosion se ralentit à la surface de l'horizon de concentration beaucoup plus compact et tenace ; on est alors en présence d'un limon rouge (86). Le plus souvent, la situation est intermédiaire, le limon n'est ni rouge, ni blanc ; c'est le limon moyen, la terre franche des agriculteurs.

Voici les compositions d'un grand nombre de sols sur terre à briques, classées d'après leur teneur en argile et calculées en pour cent d'éléments argilo-siliceux :

	Types sableux	Type moyen	Type argileux
Colloïdes . . .	11,4	15,3	20,1
Poussière . .	21,2	22,9	22,0
Sable fin . . .	63,7	58,7	54,6
Sable grossier	3,7	3,1	3,4

Il est possible de passer d'un type à un autre en faisant varier uniquement le taux de colloïdes ; ce résultat confirme le mode de formation attribué aux divers types : les limons sableux sont des limons lessivés, les limons argileux des limons enrichis par les eaux d'infiltration.

L'érosion fait disparaître les horizons lessivés puis, une certaine accumulation ayant toujours lieu, la roche mère disparaît à son tour et l'horizon B finit par reposer directement sur l'ergeron.

Voici quelques indications sommaires concernant un certain nombre de profils établis sur terre à briques :

Épaisseur de la terre à briques %m	Distance de la surface à l'horizon d'accumulation	Indice d'accumulation	Notation du profil			
			A'ABCD	A'BCD	B'BCD	B'BD
285	120	1,57	Ault.			
285	105	1,46	Lamotte.			
270	150	1,50	Le Murgé.			
270	120	1,92	Chaulnes.			
240	100	1,34	»	Fricourt.		
230	105	1,65	Rosières.	»		
220	85	1,82	Villers-Carbon.	»		
200	90	»	Missy.	»		
190	60	1,65	»	Haute-Fonte.		
175	60	1,32	»	Villers-Bret.		
160	70	»	»	Le Murgé II.		
150	55	»	»	»	Albert.	
150	60	»	»	Nesle.	»	
150	60	1,85	»	»	Ribemont.	
125	50	1,58	»	»	»	Paraclet.
90	50	1,67	»	»	»	Moll.-Vidame
70	30	1,62	»	»	»	Creuse.
50	30	1,20	»	»	»	Amiens.

La notation est la suivante :

A : Horizon lessivé de la terre à briques.
B : Horizon d'accumulation de la terre à briques.
C : Roche mère du sol (terre à briques non transformée).
D : Roche mère de la terre à briques (Ergeron).

On a proposé, pour fixer l'importance des migrations, de déterminer un coefficient de lessivage (rapport entre le taux de colloïdes en surface et dans l'horizon d'accumulation), mais l'érosion enlève toute signification à ce coefficient dans la majorité des cas. Nous préférons utiliser dans le même but le rapport entre les taux de colloïdes trouvés dans l'horizon d'accumulation et dans la roche mère (en C ou en D supposé décalcifié lorsque C

n'existe plus). L'emploi de ce coefficient présuppose que la composition de l'ergeron primitif variait peu avec la profondeur, ce qui n'est pas toujours exact ; mais cette possibilité d'erreur joue pareillement sur l'indice de lessivage.

b) *Fendillé.* — Lorsque le fendillé affleure, ce qui a parfois lieu sur le bord des plateaux, des sols appartenant au même type que la terre à briques se forment à sa surface, mais l'ensemble est nettement plus argileux ; les sols arables dérivés des horizons lessivés du fendillé, sont comparables aux sols arables sur horizon d'accumulation des terres à briques. Les uns et les autres sont connus sous le nom de « rougeons » ou de « rougerons ». Les praticiens désignent sous ce nom les limons argileux, quelle que soit leur origine ; ils présentent tous d'ailleurs des propriétés culturales analogues. Voici un exemple de sol sur fendillé :

	MOISLAINS (point n° 49)			
Notation	A'	A	AB	B
Profondeur du prélèvement (centim.) . .	10	30	60	140
Colloïdes	16,6	19,8	28,6	38,2
Azote	0,11	0,06	0,04	0,04
Calcaire	0,7	0,3	0,1	0,2
Oxyde de fer libre . . .	2,56	2,88	3,12	4,51
Eléments solubles dans les acides concentrés bouillants :				
Potasse	0,26	0,17	0,17	0,58
Acide phosphorique . .	0,09	0,04	0,05	0,08
Manganèse	0,06	»	»	0,15

Dans l'horizon B, il y a accumulation des colloïdes minéraux, de l'oxyde de fer libre, de la potasse, du manganèse, de l'acide phosphorique, etc. Le profil repose sur la craie par l'intermédiaire d'une couche assez peu épaisse d'argile à silex.

c) *Autres limons.* — Dans toute la Picardie, lorsque l'altitude atteint ou dépasse 100 mètres, le système terre à briques sur ergeron est presque toujours remplacé par un limon non calcaire reposant sur argile à silex ; c'est le cas dans le Vimeu, dans une bonne partie du Ponthieu, sur les parties élevées du Plateau Picard et au Nord de Péronne, aux confins du Cambrésis :

	Limon sur argile à silex FOSSE-BLEUET (point n° 35)			
	Profondeur	Calcaire	Colloïdes	Azote
A'	0 - 20	0,2	11,5	1,06
AB	40	0,1	15,3	»
B	110	0	26,1	0,48
BC	150	0,1	21,2	0,37
	Argile à silex.			

A Mortcerf, dans la Brie, la succession est toujours la même mais l'opposition est très peu marquée entre les divers horizons :

	Limon de la Brie sur argile verte MORTCERF (point n° 104)			
	Profondeur	Calcaire	Colloïdes	Azote
A'	-0 - 20	2,1	14,0	1,3
B	40	0	18,6	0,4
C	150	0	14,1	0,4

Dans la même région, lorsque les limons reposent sur le sable de Fontainebleau, les colloïdes lessivés des horizons supérieurs pénètrent les sables en donnant un horizon très coloré, à la fois argileux et grossier, dont l'aspect est très particulier :

Limon de la Brie sur sable de Fontainebleau
GUIGNES-RABUTIN (point n° 98)

	Profondeur	Calcaire	Colloïdes	Azote
A'	0 - 20	0	13,8	1,13
B	80	traces	23,7	0,62
BC	120	traces	27,8	0,60

Sable de Fontainebleau.

Les limons de Beauce sont très argileux ; mais cette circonstance n'a pas empêché les premiers horizons de s'appauvrir par lessivage :

Limon de Beauce
LION-EN-BEAUCE (point n° 93)

Profondeur	Calcaire	Colloïdes	Azote
0 - 20	traces	24,1	1,40
100	0,1	33,3	0,65
200	6,2	40,3	0,60

Sables de Lozère et calcaires de Beauce.

Ce profil ne se classe par normalement parmi les types habituels, le taux de colloïdes augmentant depuis la surface jusqu'aux roches sous-jacentes.

Sur calcaire de Saint-Ouen, il existe des profils complexes, par exemple celui-ci :

Limon de Multien
BOUILLANCY (point n° 74)

	Profondeur	Calcaire	Colloïdes	Azote
A'	0 - 20	0,6	19,4	2,35
A.	40	0,1	21,6	0,55
B1/D	80	traces	38,5	0,62
B2/D	120	0,9	56,1	0,60

Calcaire de Saint-Ouen .

Les horizons B1 et B 2 contiennent une proportion importante de cailloux et graviers, tandis que les horizons A' et A répondent parfaitement bien à la définition des limons. Dans ce profil, comme dans celui de Lion-en-Beauce, il est impossible d'identifier un horizon C, le taux de colloïdes augmentant régulièrement avec la profondeur.

Les limons sur argile plastique donnent également des profils complexes, la surface seulement étant limoneuse, les horizons profonds appartenant au Sparnacien :

Limon du Noyonnais
BEINES (point n° 68)

	Profondeur	Calcaire	Colloïdes	Azote
A'	0 - 20	0,1	21,0	0,15
B1/D. . . .	90	0	66,3	0,04
B2/D. . . .	110	0	71,5	0,04

Pour le même profil, la solubilité dans les acides concentrés bouillants nous a donné les chiffres suivants :

		Profondeur	Colloïdes argileux	Fe	Mn	P2 05	K2 O
		—	—	—	—	—	—
A'	humifère . . .	0 - 20	21,0	3,0	0,05	0,12	0,3
		40	48,3	6,2	0,03	0,09	0,5
		60	54,1	7,2	0,02	0,06	0,4
B1	ferrugineux . .	90	66,3	11,8	0,06	0,24	0,7
B2	argileux. . . .	110	71,5	5,2	0,04	0,04	1,0
		160	45,3	4,1	»	0,06	0,9

Le fer se trouve pour une bonne part à l'état ferreux dans toute la hauteur du profil en raison de l'humidité du milieu (sol à gley) ; le fer et l'acide phosphorique ont migré parallèlement sous forme de complexes ferriphosphoriques.

Pour ces deux derniers profils, les premiers horizons sont vraisemblablement des limons éluviaux, formés aux dépens de la roche sous-jacente.

C) Caractéristiques essentielles des sols de limon

Les sols de limon sont redevables de leurs qualités exceptionnelles à des propriétés physiques très favorables, bien plus qu'à leur richesse en principes fertilisants. Ces terres sont en effet, continues, profondes, homogènes, faciles à travailler, susceptibles d'un complet ameublissement (107), capables d'acquérir une structure particulièrement propice à la végétation ; assez perméables pour s'égoutter rapidement, elles sont assez argileuses pour conserver des réserves hydriques importantes. Par contre, la plupart sont originellement pauvres en chaux et en acide phosphorique, puisque souvent formées sur terre à briques, sur fendillé, ou sur d'autres limons non calcaires.

Ici, comme partout, toute production agricole est directement fonction de nombreux facteurs ; tous dépendent des conditions de milieu (climat et sol) et la vocation culturale, comme la productivité, apparaissent comme des résultantes de tous ces facteurs.

1° Etat calcique.

Au point de vue réaction du sol, la luzerne, les autres légumineuses, la betterave, le blé ont des exigences très nettes et, lorsqu'il est signalé dans les pièces de limon des taches où des plantes végètent ou même ne se développent plus du tout, il s'agit presque toujours d'îlots où la terre commence à s'acidifier. En même temps, sur les terres pauvres en chaux, sévissent de nombreuses et graves maladies du bétail, telles que la cachexie osseuse, l'hématurie bovine, l'entérite paratuberculeuse et l'on sait maintenant que ces affections apparaissent de préférence lorsque l'alimentation est déficiente en calcium et en phosphore, c'est-à-dire en deux éléments particulièrement indispensables à une nutrition minérale correcte.

Sous le climat picard, l'optimum de pH pour les plantes de grande culture oscille entre 7 et 7,5 ; l'action dépressive de l'acidité du sol sur les rendements des blés, avoines, betteraves sucrières, s'explique surtout par le ralentissement de la nitrification. Cette action dépressive est, en effet, diminuée par l'apport d'engrais ammoniacaux et presque entièrement supprimée en présence d'engrais nitriques.

En moyenne, pour l'ensemble du Santerre, l'optimum n'est pas très loin d'être réalisé, il n'en est pas de même dans d'autres régions, par exemple dans le Vimeu et cette situation est fonction pour une large part des influences climatologiques.

Jenny et Léonard ont établi par l'étude de la réaction des *alluvions éoliennes*, prélevées en Amérique du Nord, sur l'isotherme de 11°, que plus le climat est humide, plus le pH est bas (111). Les chiffres donnés par les auteurs permettent la construction d'une courbe pH - humidité climatique et par suite la comparaison de la réaction de nos limons et des sols étudiés par eux (157).

	Hauteur annuelle des pluies	
	670 m/m Santerre Vermandois	800 m/m Vimeu Ponthieu
pH moyen	7,1	6,4
pH calculé d'après Jenny et Léonard	6,8	6,3

Sans doute, le praticien cherche-t-il à améliorer le pH des sols qu'il cultive, mais son action est nécessairement passagère, et, en définitive, la réaction est sensiblement ce qu'elle doit être eu égard au climat.

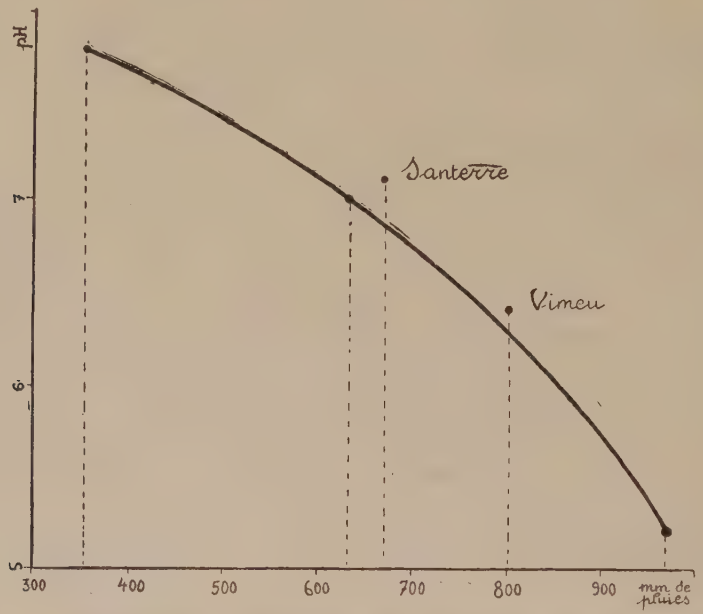

Fig. 12. — **Variations de la réaction des sols en fonction de l'humidité climatérique d'après Jenny et Leonard. — Réaction moyenne des sols du Vimeu et du Santerre.**

Partout, et sauf en ce qui concerne les affleurements d'ergeron, d'ailleurs assez peu fertiles et heureusement très réduits, la praticien doit surveiller de près l'état calcique des sols de limon et c'est même, très souvent, l'une de ses préoccupations majeures.

2° Richesse en colloïdes.

La productivité croit régulièrement en même temps que le taux de colloïdes jusqu'à une valeur optima, valeur qui n'est d'ailleurs jamais dépassée dans le cas des limons.

L'évolution et l'érosion, agissant successivement sur les sédiments, déterminent la formation de sols moins ou plus argileux, et par conséquent moins ou plus fertiles, que ne le seraient les sols arables formés sur la roche mère non évoluée.

Les limons blancs, qui correspondent à l'affleurement de l'horizon lessivé de sols bruns évolués, sont légers et manquent de cohésion, surtout lorsque, comme c'est le cas général, l'appauvrissement en colloïdes s'accompagne d'un appauvrissement en chaux et en matières humiques. Ils sont très souvent « battants » c'est-à-dire qu'il se forme après les pluies violentes, une croûte superficielle très défavorable à la végétation. Faciles à travailler, ces sols demandent à être labourés au printemps ; ils se salissent aisément,

se laissant envahir par les mauvaises herbes, spécialement par la ravenelle et la moutarde ; les maladies de carence, la maladie du cœur de la betterave en particulier, y sévissent fréquemment surtout après chaulage.

Les limons rouges, rougeons ou rougerons, résultent de l'affleurement des horizons illuviaux des terres à briques ou des horizons quelconques des limons argileux tels que les fendillés.

Ces limons rouges présentent une structure grumeleuse très favorable, ils sont lourds, compacts et frais ; plus difficiles à travailler que les limons blancs, ils exigent des labours d'automne afin de pouvoir être ameublis par les gelées. Leur fertilité est très élevée ; les rendements en betteraves sucrières, en luzerne ou en trèfle y sont toujours excellents, de même que les rendements en pomme de terre, plante qui passe cependant pour préférer les milieux légers.

Dans le département de l'Oise, les différences entre les deux types extrêmes sont nettement accusées. En Picardie, au contraire, on rencontre parfois des limons blancs ou rouges, mais c'est le limon moyen, la terre franche, qui domine ; plus facile à travailler que les limons argileux, il est plus fertile que les limons blancs, presque autant que les limons rouges.

Ainsi, la fertilité augmente en même temps que le taux de colloïdes, mais le praticien demeure le plus souvent sans moyen d'action pratique à cet égard ; cependant, lorsque l'horizon illuvial est suffisamment voisin de la surface, il peut grandement améliorer sa terre par des labours de défoncement qui, en mélangeant la partie superficielle de l'horizon B à l'horizon lessivé, augmentent d'autant le caractère argileux du sol. Mais il est indispensable, pour avoir toutes les chances de succès, de prendre certaines précautions, approfondissement progressif du sol, épandage de quantités élevées d'engrais minéraux et surtout humiques, marnages.

3° **Teneur en matières humiques.** — Les matières organiques jouent également un très grand rôle au point de vue de la fertilité, mais le problème est tout différent de celui qui concerne le taux de colloïdes minéraux. L'augmentation du taux d'humus peut être aussi bien l'indice d'une grande richesse naturelle, comme c'est le cas pour les tchernozems, que la preuve d'une inertie, d'un mauvais état physique et biologique du sol.

Dans les limons, la matière organique est bien utilisée et il en reste moins qu'ailleurs 2 à 2,5 pour cent en moyenne ; au contraire, les matières organiques s'accumulent dans les argiles à silex et dans les sols crayeux.

Toutes choses égales d'ailleurs, le taux de matières organiques augmente lorsque la pluviosité croît (111) et aussi lorsque la température baisse ; pour ces deux raisons les limons du Vimeu sont nettement plus humifères que les limons du Santerre, et ce caractère apparaît surtout si l'on tient compte de la faible teneur des sols du Vimeu en colloïdes argileux.

Le résultat important de cette influence climatique c'est que les limons du Vimeu, pourtant bien moins argileux que les limons blancs des autres régions, ne sont nullement battants ; ils le doivent avant tout à l'augmentation du taux de matière organique, augmentation dont on connaît l'action bienfaisante sur la stabilité de la structure.

4° **Humidité du milieu.** — Pour obtenir les meilleurs résultats possibles, il faut que l'humidité soit comprise entre certaines valeurs. Sa répartition dans le temps et dans l'espace a une importance tout à fait prépondérante et la présence de l'eau à tous moments et en quantités suffisantes accroit les rendements dans de fortes proportions (72) ; cela n'empêche d'ailleurs nullement l'excès d'humidité d'exercer une très mauvaise influence sur les résultats.

Dans la majeure partie du Vimeu les limons sont très légers (5 à 10 pour cent de colloïdes) ; ils devraient donc souffrir de la sécheresse beaucoup plus facilement que les limons du Santerre qui sont bien plus argileux et par conséquent bien moins perméables.

Or, la fertilité naturelle des limons est sensiblement de même ordre dans le Vimeu et dans le Santerre et, en bonne culture, les résultats ne sont pas loin d'être comparables dans les deux régions. Il faut donc nécessairement admettre que, pas plus que les limons du Santerre, les limons du Vimeu ne souffrent de la sécheresse et cela s'explique par deux ordres différents de considération :

Dans le Santerre, le limon repose presque toujours directement sur le substratum crayeux ; dans le Vimeu, une couche d'argile à silex, qui s'interpose entre le limon et la craie, réduit la perméabilité de l'ensemble et maintient un certain degré d'humidité, éminemment favorable à la végétation. Cette cause serait souvent insuffisante pour expliquer la fraîcheur manifestement plus grande dans les sols du Vimeu, car la puissance de la couche d'argile à silex atteint à peine quelques décimètres en bien des endroits ; mais le climat est plus humide à l'Ouest du département de la Somme, puisque la hauteur annuelle des précipitations, comprise entre 600 et 750 mm dans le Santerre, s'élève à près de 900 dans certaines localités du Vimeu.

Dans la Brie, l'optimum d'humidité est très souvent dépassé en raison de l'imperméabilité des marnes et des argiles situées en dessous des limons ; il arrive que les eaux de pluie séjournent à la surface et recouvrent même certains sols pendant plusieurs semaines au printemps, ce qui retarde l'exécution des travaux à cause de gros dégâts aux cultures. Cette situation oblige à drainer, opération qui se traduit par une augmentation immédiate des rendements et par une plus grande facilité pour l'exécution des façons culturales. Mais l'assainissement de toutes les terres humides de la Brie exigerait un travail considérable et, en 1929, on évaluait à 50.000 hectares la surface drainée, surface importante sans doute, mais encore bien insuffisante.

Dans la Beauce, la situation est inversée par rapport à celle de la Brie ; un limon peu épais, heureusement très argileux, repose sur le calcaire fissuré et la végétation souffre de la sécheresse dès que celle-ci se prolonge quelque peu durant les mois d'été.

5° **Influence des fluctuations climatologiques.**

Un optimum d'humidité existe pour chaque période critique de chaque plante cultivée mais, en fait, dans les sols de limon, ces optimums sont à peu près toujours dépassés pour les céréales et presque toujours atteints pour des plantes aussi exigeantes en eau que la pomme de terre ou la betterave sucrière. Pour cette dernière, il a fallu la sécheresse tout à fait exceptionnelle de 1929 pour déprécier sensiblement les rendements.

La comparaison des rendements déterminés à Villers-Carbonnel et à Fresnes-Mazancourt nous a montré que les froids secs de l'hiver agissaient très favorablement, non seulement sur les plantes qui occupent le sol pendant l'hiver, comme les blés d'automne, mais encore sur les plantes semées après l'hiver, comme les betteraves sucrières et les avoines de printemps (127).

Voici les rendements moyens obtenus à Villers pour ces trois plantes, pendant une période d'une quinzaine d'années, et groupées d'après l'humidité des trois mois d'hiver (décembre, janvier, février) :

Humidité de l'hiver (m/m)	Rendements à l'hectare		
	Blé (qx)	Avoine (qx)	Betterave sucrière (tonnes)
Inférieure à 110	38,2	36,0	38,1
Comprise entre 110 et 190. . .	30,6	27,6	32,6
Supérieure à 190	28,7	26,8	25,1

Si, ce qui est certain, les basses températures de l'hiver (en corrélation très nette avec la sécheresse), influent très favorablement sur la physiologie des blés, il est de toute nécessité d'admettre que l'influence favorable résulte surtout d'une action indirecte, les froids secs modifiant l'état physique, chimique, biologique et sanitaire du sol.

L'excès de pluviosité à une période quelconque se révèle défavorable à la végétation, mais, tout au moins pour les blés, la hauteur des pluies d'hiver constitue le facteur essentiel de la production, tandis que les précipitations de printemps et d'été ne sont que des facteurs secondaires.

De même que l'humidité de l'hiver déprécie les rendements, l'humidité en fin de végétation diminue la qualité, notamment le poids de l'hectolitre des blés et des avoines et la densité des jus de betteraves ; au contraire, les températures élevées de juillet peuvent augmenter fortement le poids de l'hectolitre de blé, tandis que l'abaissement des minima en septembre et octobre se montre favorable à la richesse saccharine des betteraves.

L'efficacité des engrais, elle aussi, dépend essentiellement des fluctuations climatologiques ; celles-ci conditionnent l'utilisation des engrais, aussi bien pour créer des excédents, que pour enrichir la matière sèche des plantes en substances protéiques, et pour faire varier la valeur des produits obtenus.

6° Influence de la fumure.

Les sols de limon, milieu extrêmement fertile, sont aptes à donner de très bons rendements même en l'absence de toute fumure, mais, en raison même de leur très haut potentiel de productivité, ce sont des sols qui paient particulièrement bien les sacrifices consentis sous forme d'engrais. La fumure comporte toujours en tête d'assolement de fortes doses d'engrais organiques et minéraux ; pour être rationnelle, elle devrait apporter également chaque année, ce qui n'a pas toujours lieu, des quantités suffisantes d'engrais minéraux.

La fumure minérale NPK doit être équilibrée en fonction de l'état du sol et des exigences de la plante cultivée, mais, pour tous les sols de limon, c'est l'azote que l'on doit considérer comme le « pivot de la fumure ».

Voici, condensés en quelques chiffres, les résultats d'un très grand nombre d'expériences culturales poursuivies pendant de nombreuses années dans les fertiles limons de Villers-Carbonnel près Péronne :

	Blé d'hiver	Avoine de printemps	Betterave sucrière
Nombre d'années d'expériences .	10	8	9
Dose optima d'azote (kg. ha.) . .	60	45	120
Rendements, Témoin sans azote	31 qx 0	26 qx 8	39 t 3
— Fumure complète .	39 qx 8	33 qx 6	43 t 3
Indice de comparaison en faveur de l'azote	128	121	110

Les doses optima d'azote indiquées dans le tableau doivent être équilibrées par une fumure phospho-potassique, mais une fumure n'est pas équilibrée en soi ; elle doit être calculée compte tenu de la richesse du sol et de la culture envisagée.

Dans ce but, la détermination des éléments dit assimilables (éléments solubles dans les acides dilués) donnent de précieux renseignements, spécialement en ce qui concerne les sols de limon ; elle permet de dire si les besoins sont nuls, modérés ou intenses, c'est-à-dire s'il est possible de suspendre provisoirement l'apport d'engrais, s'il y a lieu d'apporter uniquement une fumure d'entretien ou si la fumure complémentaire procurera de forts excédents.

C'est la fumure ainsi équilibrée qui apportera des excédents de l'importance de ceux qui viennent d'être signalés, soit 25 à 30 pour cent pour les blés d'hiver, 20 pour cent pour les avoines de printemps, 10 pour cent pour les betteraves sucrières.

7° Vocation culturale ; Productivité.

H. Hitier a montré que le domaine de la betterave industrielle, en France comme à l'étranger, correspondait aux étendues couvertes de limon. Les sols de limon portent aussi de très belles céréales et, dans les régions où ils reposent sur l'argile à silex, de riches herbages et de vigoureuses cultures fourragères, sans perdre pour cela leurs autres aptitudes.

Voici pour quatre des régions étudiées, la répartition des surfaces consacrées aux grandes cultures (*) :

	Beauce	Brie	Santerre Vermandois	Vimeu Ponthieu
Blé	78	85	50	39
Avoine	74	82	39	41
Plantes sarclées	16	33	23	16
Prés et fourrages	54	68	30	66
Bois	18	45	8	20
Total	240	313	150	180
Soit en pour cent du territoire	73,2	74,5	79,3	85,0

Pour cent des surfaces attribuées aux quatre principales spéculations agricoles cela donne :

Blé	35,1	31,7	35,2	24,1
Avoine	33,4	30,6	27,5	25,3
Plantes sarclées	7,2	12,3	16,2	9,9
Plantes fourragères	24,3	25,4	21,1	40,7

Les systèmes de culture diffèrent donc nettement :

Dans la Beauce, le blé occupe la première place et les plantes sarclées, les betteraves industrielles notamment, ne remplissent qu'un rôle des plus effacés ; en compensation, les prairies artificielles et les fourrages annuels couvrent des surfaces importantes.

La culture du Santerre est encore plus intensive, plus industrialisée que celle de la Brie ; on y produit moins de fourrages, mais plus de blé et surtout plus de racines. Toutes les exploitations sans exception font chaque année un certain nombre d'hectares de sucrières, alors que dans la Brie, les fermes les plus éloignées des sucreries les remplacent par des fourragères.

La statistique montre à quel point la culture du Vimeu est orientée vers les productions fourragères ; les surfaces impartics aux céréales sont bien moins importantes qu'ailleurs et nulle part, même au voisinage immédiat des centres de réception, la betterave à sucre ne prend le caractère de « pivot de l'assolement » qu'elle présente dans le Santerre.

Ce n'est pas par hasard que les récoltes se répartissent comme il vient d'être dit ; cette répartition est le résultat logique de l'évolution agricole, évolution conditionnée évidemment par les conjonctures économiques successives, mais avant tout par la vocation culturale du milieu.

La meilleure preuve que cette vocation naturelle n'est pas contrariée, est donnée par l'importance des rendements obtenus ; dans de très bonnes exploitations du Santerre on a noté pour la période allant de 1925 à 1938, des récoltes comprises entre :

(*) Ces divers renseignements intéressent les régions entières et non pas seulement les sols de limon, mais, dans ces régions, les surfaces couvertes par le manteau pléistocène dépasse soixante pour cent de la surface totale. Ce sont donc les indications concernant les limons qui dominent ; cela d'autant plus que ce sont les possibilités offertes par ces derniers qui orientent l'ensemble de la culture.

Blé d'automne	24 et 42 quintaux
Avoine de printemps	18 et 41 —
Betterave sucrière	25 et 41 tonnes
Pomme de terre	25 et 47 —

Ce sont là des résultats remarquables, il va sans dire qu'ils ne pourraient être atteints si le sol n'était pas extrêmement fertile ; ils ne pourraient pas l'être davantage si l'adaptation des diverses spéculations au milieu n'était pas parfaite.

Par ailleurs, les soins apportés aux façons culturales, à la fertilisation rationnelle, au choix des semences, par des praticiens mieux instruits qu'ailleurs des exigences d'une culture hautement industrialisée, ont aussi contribué grandement à améliorer les résultats obtenus sur les fertiles terres limoneuses.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

De nombreux géologues, analysant et développant les conclusions des travaux de Ladrière, ont reconnu parmi les limons quaternaires du Bassin de Paris et du Nord de la France, un certain nombre de niveaux différents ; en toute objectivité, il faut reconnaître que l'identification de ces derniers, en l'absence de points de repère suffisants, présente trop souvent les plus grandes difficultés. Il est donc indispensable, si l'on veut opérer un classement logique à l'intérieur de cet ensemble complexe, de rechercher à son sujet le plus grand nombre possible de renseignements précis.

Dans ce but, les auteurs ont surtout utilisé des caractères morphologiques externes ; nous avons préféré fonder les comparaisons nécessaires sur la connaissance de la « constitution immédiate », c'est-à-dire sur la connaissance des teneurs en constituants isolables par les seuls moyens mécaniques ou physiques, des roches appartenant aux diverses assises.

La méthode couramment utilisée dans les laboratoires agronomiques, connue sous le nom de « Méthode internationale d'analyse mécanique des sols », permet, sinon de connaître en toute rigueur la composition minéralogique des sols et des roches sédimentaires, tout au moins d'en obtenir une image chiffrée donnant une représentation satisfaisante de la réalité.

Les mesures granulométriques, intéressant les éléments sableux et permettant d'obtenir des diagrammes de finesse, donnent des caractéristiques intéressantes et se révèlent parfois extrêmement utiles pour la recherche de certaines filiations lithologiques ; quant aux méthodes purement chimiques, telles que le dosage des éléments « globaux », nous les avons surtout employées pour contrôler la signification des fractionnements réalisés par l'analyse mécanique.

Ces diverses méthodes ne peuvent avoir la prétention de remplacer les méthodes minéralogiques ; elles sont susceptibles cependant de rendre les plus grands services pour l'étude pétrographique des principales roches sédimentaires. Voici, en ce qui concerne les limons du Bassin de Paris, les principaux résultats acquis, grâce à leur emploi en grande série, grâce également à l'observation sur le terrain de très nombreuses coupes :

1° Pour près de douze cents échantillons prélevés en Picardie, dans le Pays de Caux, le Noyonnais, le Clermontois, le Soissonnais, le Valois, le Multien, la région parisienne, la Brie et la Beauce, l'analyse mécanique et granulométrique conduit aux conclusions suivantes, qui pourraient aider à préciser les définitions :

Les limons de la zone étudiée renferment moins de 5 pour cent de cailloux et graviers (diamètre supérieur à 2 millimètres), moins de 45 pour cent d'éléments d'un diamètre supérieur à 60 μ ; leur constitution « immédiate » correspond à des points représentatifs qui se placent à l'intérieur de la « surface limon » du diagramme d'interprétation calcaire-colloïdes minéraux, surface dont les points extrêmes correspondent aux données suivantes : taux de calcaire compris entre 0 et 29 pour cent ; taux de colloïdes argileux compris entre 5,5 et 45 pour cent ; taux de poussières et de sables siliceux compris entre 53 et 93 pour cent.

A ces constitutions, correspondent des compositions chimiques et des propriétés physiques et mécaniques bien déterminées et parfaitement spécifiques.

2° Il existe de très nombreux types de limons ; certains répondent aux définitions de Ladrière, d'autres sont plus difficiles à identifier et à classer. Les uns et les autres possèdent des constitutions variées et par conséquent des manières d'être différentes ; la connaissance de leur constitution apporte à leur sujet d'utiles précisions.

3° L'inventaire ainsi réalisé, fait apparaître avec une netteté toute particulière, la très grande variabilité qui affecte la constitution du sédiment à l'intérieur d'une même région et, plus encore, les différences qui existent entre les limons des diverses régions naturelles.

Ainsi, à faible distance, parfois sur un même front de carrière, il arrive que la roche ait des constitutions très différentes ; ainsi encore, les limons de la Beauce diffèrent beaucoup de ceux de la Brie et du Santerre, comme ces derniers des limons du Vimeu ou du Pays de Caux. Cette variabilité se retrouve d'ailleurs si, au lieu de considérer la constitution minéralogique approchée ou la composition globale, on envisage d'autres données, par exemple celles relatives aux groupements dominants de minéraux lourds et l'on peut dire que dans chaque région, le sédiment quaternaire possède des caractères différentiels manifestes.

4° Cette disparité ne peut s'expliquer que par des différences existant déjà entre les roches mères, ou par la diversité de nature ou d'intensité des forces qui ont présidé à la formation des limons. Nous avons été ainsi conduit logiquement à chercher à connaître la constitution d'un grand nombre de roches mères probables ou possibles, c'est-à-dire de la presque totalité des formations géologiques de la zone étudiée.

Les argiles résiduelles, associées aux calcaires et aux marnes, l'argile plastique, l'argile verte de la Brie, les argiles à meulières, les graviers de Lozère, renferment les constituants indispensables à la formation des limons non calcaires, c'est-à-dire des colloïdes argileux et de la silice fine. Les calcaires, les marnes, un grand nombre d'alluvions, renferment en outre, des quantités variables de carbonates.

Certaines formations ou les éluviums dérivés, ont une constitution qui ressemble à celle des formations pléistocènes voisines, au point qu'ils méritent l'appellation de limon à silex, à meulière, de limon de Sinceny, etc.

5° Les diverses analyses effectuées établissent que la variabilité observée dans la constitution des limons, s'explique très souvent par l'influence des roches voisines. Dans cet ordre d'idée, le rôle joué par les sables est facile à mettre en évidence, les grains siliceux formant les sables étant toujours bien plus grossiers que la majeure partie des grains siliceux renfermés par les autres formations.

Dans la Brie, les limons placés dans la zone d'influence des sables de Fontainebleau, renferment en moyenne 23,5 pour cent d'éléments d'un diamètre supérieur à 60 μ, tandis que les limons situés à plus de 1.500 mètres des buttes sableuses, ou séparés de celles-ci par des vallées dans le cas contraire, n'en renferment que 5 pour cent. L'examen statistique de neuf comparaisons montre qu'il existe moins de une chance sur mille pour que cette différence soit due au hasard et non au groupement effectué. C'est là une probabilité remarquable en faveur de l'hypothèse concernant l'intervention des sables stampiens dans la genèse des limons de la Brie.

Les exemples montrant le rôle joué par les diverses roches, dans la genèse des limons, sont extrêmement nombreux ; mais, pour aucun, la documentation réunie n'atteint la même valeur démonstrative. Dans le Santerre, les limons sur argile à silex, sont nettement plus argileux que les autres ; dans le Vimeu, les limons présentent le même caractère sableux que les sols à silex ou les sols crayeux ; le limon de Beauce est très chargé en colloïdes comme le sont les rendzines dérivées du calcaire sous-jacent.

6° Des successions stratigraphiques, présentant de multiples niveaux appartenant aux divisions moyenne et supérieure de Ladrière (loess ancien et loess récent), telles que celle d'Ivry-Villejuif, sont relativement rares.

En Picardie, on en connaît de semblables sur les terrasses de la Somme autour

d'Amiens, mais ailleurs, dans le Santerre par exemple, on n'observe que la superposition ergeron-terre à briques, celle-ci étant purement et simplement de l'ergeron décalcifié. Ailleurs encore, le système terre à briques-ergeron-fendillé domine, ce dernier semblant devoir être classé parmi les limons récents dans de très nombreux cas.

Cela lorsque l'altitude n'atteint pas 100 mètres ; lorsque la surface du sol s'élève au-dessus de cette altitude (majeure partie du Vimeu, parties élevées du Plateau picard, Vermandois aux confins du Cambrésis, etc.), le système ternaire précédent fait place à un niveau unique, limon non calcaire, reposant directement sur argile à silex.

Dans d'autres régions naturelles, dans le Soissonnais, le Valois, autour de Paris, l'ergeron est très fréquent comme dans le Santerre ou l'Amiénois, mais dans le Pays de Caux, la Brie ou la Beauce, il est rare ou inconnu comme dans les parties hautes de la Picardie ; il n'existe guère que des présomptions, pour dire s'il n'a jamais existé, ou s'il a disparu par suite de la faible épaisseur du dépôt, ou en raison d'une plus grande humidité climatique.

D'une manière tout à fait générale, les limons présentent des caractères nettement différents sur les plateaux, dont par parenthèse l'horizontalité n'est jamais parfaite, et dans les vallées qui présentent fréquemment une forte dissymétrie au point de vue géologique comme au point de vue topographique ; sur les plateaux, les cailloutis sont le plus souvent absents, rudimentaires ou inconstant et l'ergeron très réduit ; sur les pentes, les cailloutis se multiplient et augmentent d'épaisseur tandis que la puissance de l'ergeron s'accroît considérablement.

7° En définitive, l'ensemble des observations effectuées conduit à conclure que dans la zone considérée tous les terrains ont participé à la formation des limons. L'ergeron de Picardie, en particulier, semble bien dériver, uniquement ou à peu près, de la craie blanche ou de ses divers produits d'altération (craies plus ou moins remaniées, presles, sol crayeux, etc.).

Il n'est pas impossible que des éléments amenés de loin par transport éolien se soient mélangés aux éléments autochtones, mais les constatations faites s'opposent d'une manière absolue, à l'idée d'une origine lointaine de la totalité, ou même d'une partie importante des limons pléistocènes du Bassin de Paris.

Sur les pentes, le ruissellement et les solifluxions ont certainement joué le rôle essentiel dans la genèse et la mise en place des ces formations, mais, sur les plateaux, toutes les causes capables de transporter des poussières ont dû intervenir tour à tour, pour étaler les produits fins résultant de l'altération in situ de roches préexistantes.

8° La désagrégation sur place, le remaniement et les mélanges provoqués par le transport, puis à nouveau l'altération pédologique, ont amené des roches foncièrement dissemblables à engendrer des dépôts qui présentent, tous, une composition intermédiaire entre celles des roches siliceuses et des roches argileuses.

Cela correspond, que l'on considère les constitutions ou les propriétés, à une convergence marquée mais, dans la majorité des cas, celle-ci est bien loin d'effacer complètement des divergences qui résultent des différences de nature des roches mères. La convergence est un fait général qui intéresse non seulement les limons, mais surtout les sols, ceux-ci se ressemblant bien davantage que les roches dont ils dérivent.

Il paraît logique de penser, tous les facteurs dynamiques ayant présidé à la formation des limons étant directement fonction de « l'intempérisme », qu'elle a été surtout provoquée sous l'influence des divers climats qui se sont succédés pendant la préparation, et la mise en place des produits limoneux ; il ne s'agit cependant pas, à proprement parler, de processus absolument comparables à la convergence zonale pédologique, puisque les phénomènes de transport ont joué un rôle important ; ces derniers sont d'ailleurs, eux aussi, sous la dépendance des facteurs climatiques.

9° Les sols dérivés des limons non calcaires sont des sols bruns évolués, sols intermédiaires entre les sols podzoliques et les sols bruns proprement dits ; ils appartiennent en général, au type classique, caractérisé par la présence d'un profil pédologique normal, ABC. Cependant, lorsque le sédiment est peu épais il est transformé sous toute sa hauteur et l'horizon C n'existe plus ; de même, lorsque la roche mère est très argileuse, le taux de colloïdes minéraux croît depuis la surface jusqu'à une certaine profondeur et ne décroît plus par la suite. Par ailleurs, l'érosion par le ruissellement tronque très souvent les profils et fait apparaître à la surface les horizons illuviaux. Ainsi, par le jeu combiné du lessivage et de l'érosion, prennent naissance des horizons superficiels moins et plus argileux que ne l'était à l'origine, la roche dont ils sont issus.

Les limons calcaires (ergeron) sont fort peu évolués ; ils montrent généralement un début de décalcification portant sur les premiers décimètres, mais n'ont subi pratiquement aucun lessivage.

10° L'enrichissement de l'horizon superficiel en matières humiques, les façons culturales, la fertilisation, transforment la terre arable qui couvre les limons, en un type unique, bien connu des agriculteurs du Nord sous le nom impropre de terre franche ; des différences plus ou moins marquées, dont beaucoup sont encore un reflet estompé de différences originelles, apparaissent à l'examen attentif, et obligent à subdiviser le groupe des sols bruns évolués sur limon en un certain nombre de sous-types, dont chacun est caractérisé par tout un ensemble de propriétés agrologiques particulières. Les propriétés agronomiques, la vocation culturale et la fertilité notamment, sont directement fonction des conditions de milieu ; elles dépendent donc étroitement à la fois de la nature de la roche mère et du stade génétique et l'on peut dire qu'à chaque type géopédologique correspond, sous un climat donné, une unité agronomique bien déterminée ; toutes ces corrélations apparaissent nettement pour les sols de limon.

Telles sont les conclusions essentielles apparues à la suite de l'inventaire des limons quaternaires du Bassin de Paris. Certes, de nombreux problèmes demandent encore à être résolus et le sujet apparaît hérissé de nombreuses difficultés, mais l'application généralisée de méthodes d'analyse relativement simples et l'interprétation statistique des résultats, en permettant une connaissance plus exacte de la nature intime de ces formations, conduit nécessairement à une meilleure intelligence des diverses questions posées par leur étude.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Ac. Agr. : *Comptes rendus des séances de l'Académie d'Agriculture.*
Ac. Sc. : *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*
A. I. S. S. : *Association Internationale de la Science du Sol.*
Ann. Agr. : *Annales Agronomiques.*
Ann. Sc. Agr. : *Annales de la Science Agronomique.*
A. S. G. N. : *Annales de la Société Géologique du Nord.*
B. A. F. E. S. : *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Sol.*
B. S. G. F. : *Bulletin de la Société Géologique de France.*

1. — **Acy (E. d')**. Le limon des plateaux du Nord de la France et ses silex travaillés. Savy, Paris, 1878.
2. — Des silex taillés du limon des plateaux de la Picardie et de la Normandie. *Anthrop.*, 1894, p. 184.
3. — **Agafonoff V.** Sur quelques propriétés des loess. *Ac. Sc.*, 178, 1924, p. 103.
4. — La Pédologie. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, oct. 1929, p. 185.
5. — Les sols de France au point de vue pédologique. Dunod, Paris, 1936.
6. — Quelques considérations sur la partie colloïdale des sols de France. *As. Sc.*, 200, 1935, p. 1058.
7. — Les étapes des analyses chimiques et minéralogiques du sol. *B. A. F. E. S.*, 1939, p. 125.
8. — **Agafonoff et Brioux**. Etude sur les sols de limon de la Seine-Inférieure et en particulier sur le limon des plateaux de Blosseville-Bonsecours. *Ann. Agr.*, 1931, p. 309.
9. — **Agafonoff et Mlle V. Malycheff**. La terre à brique et l'ergeron. *Ac. Sc.*, 181, 1925, p. 251.
10. — Quelques considérations sur les limons inférieurs des environs de Paris. *Ac. Sc.*, 181, p. 300.
11. — Le loess et les autres limons du plateau de Villejuif. *B. S. G. F.*, t. XXIX, 1929.
12. — **Alimen et Vatan**. Etude pétrographique des sables stampiens. *B. S. G. F.*, 1937, p. 141.
13. — **Anne P.** Les fumures organiques, l'état calcique et la dispersion de l'argile dans les limons. *Ann. Agr.*, 1935, p. 786.
14. — **Aubert G.** Relations entre la pédologie et la géographie botanique. *B.A. F. E. S.*, 1937 p. 115.
15. — Observations sur le limon de Feucherolles (Seine-et-Oise). *C. R. Somm. S. G. F.*, 1943, n° 12, p. 159.
16. — **Ault du Mesnil (d') et Capitan**. Recherches géologiques et paléontologiques sur le loess des environs de Rouen. *Anthrop.* 1893, p. 108.
17. — **Azam A.** Sur la constitution et l'origine des limons de la plaine de Caen appelés rougeaut et fauvet. *Ac. Sc.*, 175, 1922, p. 315.
18. — Sur l'origine et le processus de formation des sols de la Hague. *Ac. Sc.*, 175, 1922, p. 625.
19. — Les limons de la Basse Normandie. *Thèse*, Paris, 1923.
20. — **Barbier G.** Influence des colloïdes humiques sur certaines propriétés physiques et chimiques des terres argileuses. *Ann. Agr.*, 1935, p. 765.

21. — Conditions et modalités de la fixation de l'hydrate ferrique colloïdal par l'argile des sols. *Ann. Agr.*, 1938, p. 34.
22. — **Bastisse E.-M.** Contribution à l'étude de la magnésie dans les sols de France et de ses rapports avec la chaux et la potasse. *Ann. Agr.*, 1936, p. 41.
23. — **Belgrand**. La Seine. Le Bassin Parisien aux âges ante-historiques. Paris, 1869.
24. — **Berthois L.** Note sur la pluie de boue des 28-29 novembre 1930. *Bull. Géol. et Minéral. de Bretagne*,1930-31, p. 195.
25. — Contribution à l'étude des limons de Bretagne. *Bull. de la Soc. Scient. de Bretagne*, 1937, p. 53.
26. — **Berthois et Milon**. Note préliminaire sur l'origine des limons quaternaires du Finistère. *C. R. Somm. S. G. F.*, 1932, n° 4, p. 55.
27. — **Bertrand (Marcel)**. Compte rendu de l'excursion du 18 août à Bicêtre et à Villejuif. *B. S. G. F.*, 1888-89, p. 845.
28. — **Bordas F.** La pluie de boue du 27 novembre 1930. *Ac. Sc.*, 191, 1930, p. 1478.
29. — **Bordas J.** La pédologie dans le cadre régional. *A. F. E. S.*, 1938, p. 109.
30. — Le problème de la conservation du sol. *Bull. Soc. Etude Sc. Nat. du Vaucluse*, 1944, n^{os} 1 et 2.
31. — **Boule (Marcelin)**. Essai de paléontologie stratigraphique de l'homme. *Anthrop.*, 1889, p. 1.
32. — **Bourcart J.** Essai d'une classification raisonnée des matériaux meubles. *B. S. G. F.*, 5, XI, 1941, p. 107.
33. — Sur les boues et limons déposés par les cours d'eau. *Ac. Sc.*, 212, 1941, p. 651.
33 *bis*. **Bourcart et Francis Bœuf**. — La vase. Hermann, *Act. Sc. et Ind.*, Paris, 1942.
34. — **Brajnikov B.** Recherches sur les formations dites « argiles à silex » dans le Bassin de Paris. *Thèse*, Paris, 1938.
35. — Remarques sur une caractéristique des limons. *Ac. Sc.*, 212, 1941, p. 800.
36. — Sur quelques propriétés des limons. *Ac. Sc.*, 213, 1941, p. 271.
37. — Contribution à l'étude des limons. *B. S. G. F.*, t. XI, 1941, p. 323.
38. — Sur les associations de minéraux lourds dans quelques formations post-crétacées du Bassin Parisien (au Sud de la Seine). *Ac. Sc.*, 215, 1942, p. 491.
39. — Quelques considérations sur l'évolution des limons., *B. S. G. F.*, t. XII, 1942, p. 91.
39 *bis*. — Application de l'analyse minéralogique quantitative dans la génétique des formations superficielles et des sols en particulier. *B. S. G. F.*, 1942, p. 287.
40. — **Brajnikov et M^{lle} S. Duplaix**. Quelques données et problèmes de lithologie sédimentaire dans le Bassin Parisien. *B. S. G. F.*, t. XIII, 1943, p. 473.
41. — **Brajnikov, Francis-Bœuf et Romanovsky**. Techniques d'étude des sédiments. Hermann *Act. Sc. et Ind.*, n° 952, Paris, 1943.
42. — **Brajnikov et Urbain**. Sur le spectre de rayons X de la phyllite de l'argile à silex de Vernon. *B. S. G. F.*, 1934, p. 203.
43. — **Breuil H.** De l'importance de la solifluxion dans l'étude des terrains quaternaires de la France et des pays voisins. *Revue de Géogr. phys. et de Géol. dyn.*, 1934, vol. VII, fasc. 4.
44. — **Brioux Ch.** Les terres acides du Pays de Caux. *Ann. Sc. Agr.*, 1922, p. 129.
45. — Carte pédologique des sols de la Seine-Inférieure. *Bull. A. F. E. S.*, 1937, p. 109.
46. — **Brioux et Jouis**. La nitrification dans les sols de limon des plateaux. *Ann. Agr.*, 1935, p. 622.

47. — **Briquet A.** Le littoral du Nord de la France. *Thèse*, Paris, 1930.
48. — **Broek (E. Van den)**. Sur les altérations des dépôts quaternaires par les agents atmosphériques. *Ac. Sc.*, 84, 1877, p. 43.
49. — Sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels. Bruxelles, 1881.
50. — **Bruet E.** Sur la nature et l'âge du limon des plateaux du Nord-Est de la Ferté-sur-Aube. *Ac. Sc.*, 185, 1927, p. 723.
51. — **Burgevin H.** Projet de revision de la méthode d'analyse physique des terres. *Ann. Sc. Agr.*, 1925, p. 449.
52. — **Buteux.** Esquisse géologique du département de la Somme. Abbeville, 1864.
53. — **Cailleux A.** Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. *Thèse*, Paris, 1941.
54. — Fissuration de la craie par le gel. *B. S. G. F.*, 1943, p. 511.
55. — **Carte géologique de la France** au 80.000e. Béranger, Paris. Feuilles de Montreuil, Arras, Abbeville, Amiens, Cambrai, Neufchâtel, Montdidier, Laon, Rouen, Beauvais, Soissons, Paris, Meaux, Chartres, Melun, Provins.
56. — **Cayeux L.** Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. Mémoires. *Cart. géol. Fr.* Imprimerie Nationale, Paris, 1916.
57. — Origine éolienne de l'ergeron des environs de Paris. *XIIIe Congrès international de Géologie*, 1922.
58. — Les roches sédimentaires de France. Roches siliceuses. Imprimerie Nationale, Paris, 1929.
59. — *Ibid.* Roches carbonatées (calcaires et dolomies). Masson, Paris, 1935.
60. — **Chaminade R.** La réaction des sols. *Ann. Agr.*, 1933, p. 799.
61. — **Colas A.** La propriété rurale dans la Champagne crayeuse. *La Vie agricole et rurale*, Janv. 1938, p. 5.
62. — Comité consultatif des Stations agronomiques et des Laboratoires agricoles. *Méthodes d'analyse des terres.* Paris, 1898.
63. — **Commont V.** Les gisements paléolithiques de Saint-Acheul. Coupe du quaternaire dans la vallée de la Somme. *Congrès de Clermont-Ferrand de l'Ass. fr. pour l'avancement des Sces*, 1908, p. 414 du C. R.
64. — Saint-Acheul et Montières. *Mémoires S. G. N.*, 1909, t. VI.
65. — Note préliminaire sur les terrasses fluviatiles de la vallée de la Somme. Epoque de l'apparition de l'homme. *Ann. S. G. N.*, 1910, T. 39, p. 185.
66. — Note sur le quaternaire du Nord de la France, de la vallée du Rhin et de la Belgique. Lille, 1912.
67. — Chronologie et stratigraphie des industries protohistoriques, néolithiques et paléolithiques du Nord de la France et en particulier de la vallée de la Somme. *Congrès intern. d'Anthrop. et d'Arch. préhistorique.* Genève, 1912.
68. — Les terrains quaternaires des tranchées du nouveau canal du Nord. *L'Anthrop.* Masson, Paris.
68 *bis*. **Coquidé.** Etude des formations récentes de la vallée de la Somme et du littoral avoisinant. *Bull. Soc. Linn. Nord. Fr.*, 1909 à 1912.
69. — **Dangeard et Berthois.** Note préliminaire sur les formations quaternaires de la vallée de la Rance. *Ass. Française. Avancement Sces*, Congrès du Havre, 1930, p. 390.
70. — **Demangeon A.** La Picardie et les régions voisines. Artois, Cambrésis, Beauvaisis. Armand Colin, Paris, 1925.
71. — **Demolon A.** Principes d'Agronomie. T. I. La Dynamique du Sol. Dunod, Paris.
72. — *Ibid.* Tome II. La Croissance des végétaux. Dunod, Paris.
73. — La réaction des sols et ses applications en agronomie. *Ann. Sc. Agr.*, 1920, p. 97.
74. — Recherches physico-chimiques sur la terre à briques envisagée comme milieu naturel. *Thèse*, Paris, 1926.

75. — Les colloïdes et la fertilité du sol. *Ann. Sc. Agr.*, 1929, p. 46.
76. — **Demolon et Barbier**. Mode de formation et constitution du complexe argilo-humique. *Ac. Sc.*, 188, 1929, p. 654.
77. — **Demolon et Bastisse**. Migration du fer dans les sols. 18e *Congrès de Chimie Ind.*, Nancy, octobre 1938.
78. — Rôle vecteur de la silice dans les phénomènes géochimiques et physiologiques. *Ann. Agr.*, 1944, p. 265.
79. — **Demolon et Henin**. Recherches sur la structure des limons et la synthèse des agrégats. Bodenk. Fors, 1932, t. III, p. 1.
80. — **Demolon et Leroux**. Guide pour l'étude expérimentale du sol. Gauthier-Villars, Paris, 1933.
81. — **Demory P**. Les limons blancs et les limons rouges. *Ac. Agr.*, 1936, p. 62.
82. — **Depardon et Buron**. Etude agronomique comparée de trois régions naturelles, Beauce, Perche et Sologne. *Ann. Agr.*, 1938, p. 481.
83. — **Dollé L**. Géologie et climatologie du Cambrésis. *Bull. A. F. E. S.*, 1937.
84. — **Douvillé H**. Sur la formation du limon des plateaux. *Ac. Sc.*, 151, 1910, p. 630.
85. — **Dreyfus M**. Méthode pour la séparation de la fraction argileuse des roches sédimentaires. *Ac. Sc.*, 199, 1934, p. 1631.
86. — **Drouineau G**. Les limons blancs et les limons rouges. *VII*e *Congrès Int., des Mines, de la Métall. et de la Géol.*, Paris, 1935.
87. — **Dubois G**. Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France. *Mém. S. G. N.*, nº 1, 1924, p. 335.
88. — Les principaux types de limons en France septentrionale. *Revue scientifique*, 1931, p. 385.
89. — **Dubois P**. Le Pays picard. Amiens, 1937.
90. — **Ducet, Guérillot et Guyot**. Estimation du pH et de la teneur en calcaire des terres par l'examen méthodique de la végétation spontanée. *Ann. Ecole Nat. Agr. Grignon*, 1944, t. IV, p. 32.
91. — **Dumont J**. Décomposition chimique des roches. *Ac. Sc.*, 149, 1909, p. 1390.
92. — Sur l'analyse minéralogique des terres arables. *Ac. Sc.*, 140, 1905, p. 111.
93. — **Duplaix (Mlle S.) et H. Malterre**. Les associations de minéraux lourds dans les limons quaternaires du Bassin de Paris. *B. S. G. F.*, 29 avril 1946.
94. — **Duplaix (Mlle S.) et J. Ricour**. — Etude des limons d'Oissel. A paraître dans les *Cahiers de la Commission Scientifique de la Seine.*
94 *bis*. **Edelman C.-H**. Problème minéralogique se rapportant à l'étude du sol. *VII*e *Congrès Int. des mines, de la Métall. et de la Géol. appli.*, Paris, 1935.
95. — **Erhart H**. Traité de Pédologie. Institut de Pédologie, Strasbourg, 1935.
96. — **Franc de Ferrière J**. Géologie et Pédologie. Contribution à l'étude des formations quaternaires de la plaine d'Alsace *Thèse*, Strasbourg, 1937.
97. — **Garola (Mlle J.) et Mlle R. Cadier**. Contribution à l'étude des sols dérivés des argiles à silex. *Ann. Agr.*, 1938, p. 336.
98. — **Gentil L**. Le phénomène des rideaux et la solifluction. *Ac. Sc.*, 173, 1921, p. 440.
99. — **Gessner M**. L'analyse mécanique. Dunod, Paris, 1936.
100. — **Gosselet J**. Esquisse géologique du Nord de la France. *Bull. S. G. N.*, 1880 à 1903.
101. — **Graves L**. Topographie géognostique de l'Oise, Beauvais, 1847.
102. — **Grégoire Ach**. Les colloïdes en agrologie. *Ann. de Gembloux*, 1923.
103. — **Haug E**. Traité de Géologie, Armand Colin, Paris, 1927.
104. — **Hénin S**. Etude sur la régénération des « éléments structuraux » des sols des limons. *Ann. Agr.*, 1936, p. 455.

105. — Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres. *Thèse*, Paris 1938.
106. — **Hissink D.-J.** Quelques remarques sur la méthode de l'analyse mécanique du sol. *C. R. de la Conférence de la 1re Com. de l'A. I. S. S.*, Versailles, 1934.
107. — **Hitier H.** Plantes sarclées. Baillière, Paris.
108. — **Hooghoudt S.-B.** Recherches sur quelques grandeurs physiques du sol. *C. R. de la Conférence de la 1re Comm. de l'A. I. S. S.*, Versailles, 1934.
109. — **Javillier M.** Les besoins alimentaires des végétaux cultivés et les engrais chimiques. *Bull. Assoc. des Chimistes*, 1944, p. 109.
110. — **Jenny H.** Relation of climatic factor to the amount of nitrogen in soils. *Jnal. Ann. Soc. of Agr.*, 1928, n° 9.
111. — **Jenny et Léonard.** Fonctionnal relationships beetwen soil properties and rainfall. *Soil Science*, 1934, vol. 38, p. 363.
112. — **Joret G.** Recherches sur les sols de limon de la Picardie et leur état actuel de fertilité. *Ann. Agr.*, 1932, p. 30 et 170.
113. — Les sols de culture de l'Amiénois et leurs besoins. *B. A. F. E. S.*, 1937, p. 311.
114. — La région de culture industrielle du département de la Somme ; ses sols et les conditions de leur fertilité. *Bull. des Engrais*, mars et avril 1941.
115. — **Joret et Malterre.** Les sols dérivés des argiles à silex et des biefs de Picardie. Comparaison avec les sols de limon. *Ann. Agr.*, 1935, p. 16 et 507.
116. — Les argiles à silex de Picardie et les sols qui en dérivent. *Congrès Intern. des Mines, de la Métall. et de la Géol. appliquée*, Paris, 1935.
117. — Migration de l'acide phosphorique au cours des processus de podzolisation. *Ac. Agr.*, 1935, p. 943.
118. — La podzolisation dans le département de la Somme. *B. A. F. E. S.*, 1935, p. 23.
119. — Les sols crayeux de Picardie. *Ann. Agr.*, 1937, p. 61.
120. — Rôle de la fumure azotée en grande culture. *Ann. Agr.*, 1938, p. 314.
121. — Etude de quelques sols du Valois. *B. A. F. E. S.*, 1937, p. 194.
122. — Constitution mécanique des sols et solubilité de l'acide phosphorique. *Ac. Sc.*, 208, 1939, p. 147.
123. — Les sols de la Plaine Maritime picarde. Marquenterre et Bas-Champs. *Ann. Agr.*, 1939, p. 24 et 222.
124. — Les types de sols du Vimeu. *B. A. F. E. S.*, 1939, p. 6.
125. — Remarques à propos de l'évolution et de la notation pédologiques. *B. A. F. E. S.*, 1939, p. 23.
126. — Fertilité des limons du Vimeu. *Ac. Agr.*, 1940, p. 1037.
127. — Influences climatologiques sur les cultures de Picardie. *La Météorologie.* Juin 1941.
128. — La Picardie, unité agrologique et agronomique. *Ac. Agr.*, 1942, p. 154.
129. — Les sols du Vimeu. *Ann. Agr.*, 1943, p. 367.
130. — Les sols du Plateau Picard. *Ann. Agr.*, 1944.
131. — Carte des sols du département de la Somme. *Ac. Agr.*, 26 janvier 1944.
132. — Les sols de Picardie. *L'Urbanisme*, avril-mai 1944, p. 54.
133. — Répartition des pluies dans le département de la Somme. Influence de l'altitude. *Bull. de la Soc. Linn. du Nord de la France*, 1935, et *Bull. de la Commission Météorologique de la Somme*, 1938, p. 14.
134. — **Jouis E.** Le limon des plateaux de la Seine-Inférieure. *B. A. F. E. S.*, 1937, p. 121.
135. — **Labounoux, Jannin et Croisé.** L'Agriculture dans le département de la Seine-Inférieure. Wolf, Rouen, 1923.

136. — **Ladrière J.** Etude stratigraphique du terrain quaternaire du Nord de la France. *A. S. G. N.*, XVIII, 1890, p. 93 et 205.
137. — Terrain quaternaire du Nord de la France. *B. S. G. F.*, 1890-91, p. LVIII.
138. — **Lagatu H.** Classification et nomenclature des terres arables d'après leur constitution mécanique. *As. Sc.*, 140, 1905, p. 1358.
139. — Classification et nomenclature des terres arables d'après leur constitution minéralogique. *As Sc.*, 141, 1905, p. 363.
140. — **Lagatu et Maume.** Le diagnostic foliaire de la pomme de terre. *Ann. Agr.*, 1933, p. 27.
141. — **Laurent J.** Etude sur la flore et la végétation de la Champagne crayeuse. Nemours, 1920.
142. — **Laville A.** Etude des limons et graviers quaternaires à silex taillés de la Glacière, Bicêtre et Villejuif. *Anthrop. IX*, 1898, p. 278.
143. — **Lapparent (A. de).** Leçons de géographie physique, Masson, Paris, 1896.
144. — Note sur le limon des plateaux dans le Bassin de Paris. *B. S. G. F.*, 1882-1885, p. 456.
145. — **Lapparent (J. de).** Leçons de pétrographie. Masson, Paris, 1923.
146. — **Lebel L.** Les terrasses fluviatiles de Montières. *Bull. Soc. Linn. du Nord de la France*, 1928, p. 222.
146 *bis*. — Notion de préhistoire picarde, le Paléolithique. *Bull. Soc. Linn. du Nord de la France*, 1929, p. 168 et 1930, p. 371.
147. — **Lemoine P.** Géologie du Bassin de Paris. Hermann, Paris, 1911.
148. — **Leroux et Lenglen.** L'Agriculture dans le département de l'Oise. Baillière Paris, 1909.
149. — **Loisel L.** Considérations géologiques sur l'origine et la formation du limon des plateaux. *Bull. Soc. Sc. Nat.* d'Elbeuf, 1934, p. 19.
150. — **Lutaud L.** Vue d'ensemble sur la géologie d'Eure-et-Loir. Imprimerie Nationale, Paris, 1936.
151. — **Macheboeuf M.-A.** La réaction des sols. Le pH des sols, sa mesure et son influence sur la croissance des végétaux. *Revue Générale des Sciences*, 1930, p. 146.
152. — **Malterre H.** Etude géopédologique de l'Amiénois. *Bull. A. F. E. S.*, 1937, p. 321.
152 *bis*. — Comptes rendus techniques des excursions de la section du Nord et du Nord-Ouest de l'A. F. E. S., à Villers-Carbonnel et au Murgé, dans le Cambrésis, au Paraclet, dans le Soissonnais. *Bull. A. F. E. S.*, 1936, p. 299 ; 1937, p. 171 et p. 272 ; 1938, p. 269.
153. — Quelques considération sur la Pédologie. *La Potasse*, octobre 1937, p. 126.
154. — Compte rendu de l'excursion pédologique annuelle de 1938 (Beines et le Murgé). *Bull. A. F. E. S.*, 1938, p. 217.
155. — La Pédologie, ses buts, ses méthodes, son intérêt pratique. *Bull. des Engrais*, février 1940, p. 30.
156. — Constitution et vocation culturale des sols de la Brie française et de la Haute-Brie. *Ann. Agr.*, 1943, p. 233.
157. — Influence des conditions climatiques sur la composition des sols de limon en Picardie. *Ac. Agr.*, avril 1946, p. 296.
158. — Variabilité affectant la constitution des limons quaternaires du Bassin de Paris. *Ac. Sc.*, 24 avril 1946.
159. — **Malycheff V.** Le loess. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, 1929, vol. II, fasc. 2.
159 *bis*. — Sur l'origine du loess de Villejuif et en général de celui du Bassin Parisien. *C. R. Somm. S.G. F.*, 1933, p. 156.

160. — Recherches sur les minéraux argileux de quelques loess. *Soixante-dixième congrès des Sociétés Savantes*, 1937, LX, p. 293.
161. — **Mantelet et Radet**. Etude géologique et pédologique des alluvions anciennes de l'infra-crétacé (Champagne humide). *B. A. F. E. S.*, 1938, p. 13.
162. — **Mercey (N. de)**. Le limon glaciaire. *Bull. Soc. Linn. du Nord de la France*, 1874, p. 4.
163. — Classification de la période quaternaire en Picardie. *Bull. Soc. Linn. du Nord de la Fr.*, 1877.
164. — Note sur la formation du limon glaciaire du département de la Somme par remaniement des sables gras ou alluvions de rives des alluvions anciennes. *B. S. G. F.*, 1878, p. 201.
165. — Composition des sables de Bracheux et mode d'origine de l'argile plastique premier produit d'une émanation terminée par le dépôt du calcaire de Mortemer, d'après des coupes du chemin de fer de Compiègne à Roye. *A. S. G. N.*, 1879, p. 19.
166. — Sur la théorie du quaternaire ancien dans le Nord de la France. *B. S. G. F.*, 1880, p. 370.
167. — Sur la distinction des divers dépôts du quaternaire ancien dans le Nord de la France. *B. S. G. F.*, 1884-85, p. 572.
168. — **Meunier (Stanislas)**. Géologie. Vuibert et Nony, Paris, 1908.
169. — Géologie des environs de Paris. Baillière, Paris, 1912.
170. — **Milon et Dangeard**. Sur l'importance des phénomènes de solifluction en Bretagne pendant le quaternaire. *Ac. Sc.*, 187, 1928, p. 136.
171. — **Morice E**. Les méthodes statistiques modernes et leur application à l'expérimentation agricole. Imp. Nat., Paris, 1945.
172. — **Mortillet (G. de)**. Le préhistoire. Antiquité de l'homme. Paris, 1883.
173. — **Muntz**. Sur la décomposition des roches et la formation de la terre arable. *Ac. Sc.*, 110, 1890, p. 1370.
174. — **Nicolesco C.-P.** Observations sur les divers limons du Pays de Caux et en particulier sur les limons des plateaux de Saint-Romain-de-Colbosc (Seine-Inférieure). *C. R. séances S. G. F.*, 1930, p. 152.
175. — Limons des plateaux du Bassin de Paris. *C. R. séances S. G. F.*, 1938, p. 310.
176. — **Office régional du Nord**. Enquête sur l'emploi des engrais dans la région du Nord. Imp. Nat., Paris, 1928.
177. — **Orcel J**. L'emploi de l'analyse thermique différentielle dans la détermination des constituants des argiles, des latérites et des bauxites. *Congrès Int des Mines, de la Métall. et de la Géol. appl.*, Paris, 1935.
178. — **Oudin A**. Communication sur la cartographie des sols de France. *B. A. F. E. S.*. 1937, p. 238.
179. — Classification pédologique et cartographie des sols de France. *Ac. Agr.*, , 1937, p. 415.
180. — La Pédologie, son objet, ses méthodes, son intérêt agronomique. *B. A. F. E. S.* 1937, p. 279.
181. — **Patte E**. Nouvelles observations sur le quaternaire de la Vallée de l'Oise. *B. S. G. F.*, 1931, fasc. 3-4, p. 311.
182. — **Pleindoux (C. et R.)**, Confins. Etude géographique dans le cadre du département de l'Oise. Imp. Centrale Administrative, Beauvais, 1925.
183. — **Polynov B**. The cycle of Weathering (Trad. A. Muir), Murby, London, 1937.
184. — **Prescott, Taylor and Marshall**. The relationship between the mechanical composition of the soil and the estimate of Texture in the fields. *A. I. S. S., C. R. Conférence de la 1re Comm.*, Versailles, 1934, p. 143.

185. — **Radet et Mantelet.** Etude pédologique de la Champagne crayeuse. *B. A. F. E. S.*, 1938, p. 279.
186. — **Ramann E.** The evolution and classification of soils translated by. *C. L. Whittles*, Cambridge, 1928.
187. — **Rissler E.** Géologie agricole, tome IV, Berger-Levrault. Paris, 1897.
188. — **Rivière A.** L'interprétation rationnelle des spectres de tamisage des sédiments sableux et la signification géologique des diagrammes. *Ac. Sc.*, 204, 1937, p. 441.
189. — La constitution granulométrique des sédiments sableux et les grandes lignes de leur évolution dans les divers milieux géologiques. *Ac. Sc.*, 204, p. 703.
190. — Sur la granulométrie des sédiments. *B. S. G. F.*, 1944, fasc. 7,8 et 9, p. 409.
191. — **Robin A.** La terre, ses aspects, sa structure, son évolution. Paris, 1925.
192. — **Robinson G.-W.** The dispersion of soils in mechanical analysis. *A. I. S. S., C. R. de la Conférence de la 1re Comm.*, Versailles, 1934, p. 13.
193. — **Rouyer C.** Influences éoliennes sur la répartition des argiles à silex de l'Othe et du loess de Laroche-Migennes. *C. R. Somm. S. G. F.*, 1938, fasc. 18, p. 360.
194. — **Royer L.** Quelques données récentes sur les minéraux du groupe des argiles. *B. A. F. E. S.*, 1939, p. 163.
195. — **Rutot et Van den Broeck.** Les éléments du terrain quaternaire en Belgique. Note pour servir à la comparaison avec les dépôts correspondants du Nord de la France. *S. G. N.*, 1879, p. 33.
196. — **Salminen A.** Sur la véritable nature de la podzolisation en Finlande. *Documentation Ann. Agr.*, 1929, p. 326.
197. — **Schlœsing Th.** Sur la constitution des argiles. *Ac. Sc.*, 78, 1873, p. 1438.
198. — Etudes sur la terre végétale. *Ac. Sc.*, 134, 1902, p. 631 et 135, 1902, p. 601.
199. — **Sion J.** Les paysans de la Normandie Orientale. Etude géographique sur les populations rurales du Caux et du Bray, du Vexin Normand et de la vallée de la Seine. *Thèse*, Paris, 1908.
200. — **Teilhard de Chardin P.** Sur la géologie de la Chine. *C. R. séances S. G. F.*, 1930, p. 207.
201. — **Thiébaut J.** Contribution à l'étude des sédiments argilo-calcaires du Bassin de Paris. *Thèse*, Nancy, 1925.
202. — **Thoulet J.** Evaluation approchée de la dénudation du terrain crétacé des côtes normandes. *Ac. Sc.*, 1899, 2e semestre, p. 1043.
203. — **Urbain P.** Les sciences géologiques et la notion d'état colloïdal. Hermann, *Act. Sc. et Ind.*, Paris, 1933.
204. — Sur la séparation des constituants des argiles. *Ac. Sc.*, 198, 1934, p. 964.
205. — Introduction à l'étude pétrographique et géochimique des roches argileuses. Hermann, *Act. Sc. et Ind.*, Paris, 1937.
206. — **Utescher K.** Sol et étude du sol. Zeitz f. Pflanz., 1930, p. 203. *Documentation Ann. Agr.*, 1931, p. 108.
207. — Classification des sols minéraux d'après leur taux d'alumine soluble dans l'acide chlorhydrique. Zeitz. f. Pflanz., 1933, p. 224. *Documentation Ann. Agr.*, 1934, p. 267.
208. — **Vernadsky W.** La Géochimie. Alcan, Paris, 1924.
209. — **Vochelle J.** Le département de la Somme. *Bulletin des Engrais*, 1936, p. 195.
210. — **Waguet P.** Géologie agricole du département de l'Oise. Institut agricole, Beauvais.

TABLE DES MATIÈRES

Pages

Introduction 5

Chapitre I. — Techniques d'étude utilisées.

A. Méthodes analytiques :

Analyse immédiate ; granulométrie des sables ; analyses chimiques ; examens minéralogiques 7

B. Répartition géographique des coupes, des profils et des prélèvements isolés étudiés. 14

C. Résultats. 18

Chapitre II. — Constitution des limons quaternaires du Bassin de Paris.

A. Définition des limons :

Constitution physique, chimique et minéralogique ; définition analytique 19

B. Les principaux types de limons :

Définition des types ; difficultés d'identification ; constitution des différents types 23

C. Variabilité de constitution des limons :

Variabilité locale ; variabilité régionale 27

Chapitre III. — Constitution de quelques formations sédimentaires du Bassin de Paris :

A. Constitutions immédiates :

Craie et argile à silex ; autres calcaires ; marnes ; argiles ; sables 34

B. Granulométrie des sables 42

C. Composition élémentaire 43

D. Conclusions 43

Chapitre IV. — Influence des roches sous-jacentes ou voisines sur la constitution des limons :

A. Influence des sables :

Exemples ; discussion statistique 45

B. Variations du taux de colloïdes minéraux 52

Chapitre V. — Données stratigraphiques :

A. Successions normales :

Les limons d'Ivry-Villejuif, de Picardie, du Pays de Caux, de la Brie, de la Beauce 54

B. Aspects particuliers et subdivisions des divers niveaux. 62

C. Influence de la topographie sur la répartition des limons 63

D. Conclusions 64

Chapitre VI. — Origine des limons :

A. Les hypothèses 65

B. Limons éluviaux et limons de ruissellement 67

C. Cas des ergerons picards 72

D. Limons des pentes et limons des plateaux 74

E. Age des limons 76

Chapitre VII. — Les sols de limon et leurs principales propriétés agronomiques :

A. Généralités sur l'évolution pédologique :

Action des eaux d'infiltration et de ruissellement ; actions diverses ; formation de l'horizon superficiel ; notation personnelle ; principales conséquences agronomiques de l'évolution 79

B. Evolution des limons :

Limons calcaires et limons non calcaires 83

C. Caractéristiques agronomiques essentielles des sols de limons 89

Résumé et conclusions générales 96

Index bibliographique 100

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

LES TOURBIÈRES DE LA SOMME.

Vu et approuvé :

Paris, le 19 Juin 1946

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

J. CABANNES.

Vu

et Permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie

de Paris,

G. ROUSSY.